Glossaire :

DUT : Diplôme Universitaire de Technologie

IUT : Institut Universitaire de Technologie

INRA : Institut National de la Recherche Agronomique

AB : Agriculture Biologique

ITAB : Institut technique de l'Agriculture Biologique

BCRP : Biodiversité Cultivée et Recherche Participative

PAO : Pôle Agronomique Ouest : Pôle de financement d'activités agronomiques constitué par les régions Bretagne et Pays de Loire

EA : Endomycorhize(s) Arbusculaire(s)

MO : Matière Organique

LEGTA : Lycée d'Enseignement Général et Technique Agricole

KOH : Hydroxyde de Potassium

ANOVA : ANalysis Of Variance : Analyse de la variance

Introduction

L'étude que ce rapport résume a été réalisée d'avril à juillet 2016, dans le cadre d'un stage terminant une formation de deux années pour préparer un DUT Génie Biologique option Agronomie à l'IUT d'Angers (49). Réalisée au sein d'une équipe de recherche de l'INRA et de l'ITAB, cette étude porte sur la mycorhization du blé tendre dans des systèmes en AB ou sans intrant. La mycorhization est l'association symbiotique (à bénéfices mutuels) de champignons du sol avec les racines de l'immense majorité des plantes. Cette association, longtemps négligée par les agronomes, se révèle d'une grande utilité pour l'ensemble de l'agro-écosystème. Elle est l'objet d'un nombre croissant d'études révélant son utilité dans la « nouvelle révolution verte » dans laquelle l'agriculture s'engage, pour allier productivité et durabilité des systèmes de production.

C'est l'impact de la diversité génétique, à travers la biodiversité cultivée sur les mycorhizes qui est ici étudié. Cette étude est menée par l'équipe Biodiversité Cultivée et Recherche Participative, comme la plupart des travaux de cette équipe, elle étudie la sélection participative et s'inscrit donc dans un contexte de recherche participative, menée de concert avec des agriculteurs.

Ce stage m'a permis d'en apprendre beaucoup sur la recherche agronomique, sur l'AB, l'agriculture paysanne, ou encore sur les statistiques. Mais j'ai avant tout acquis des connaissances sur la rhizosphère, cette partie du système sol-plante trop souvent oubliée, qui constitue pourtant la source même d'approvisionnement en éléments nutritifs des plantes.

Aidé de mes encadrants Véronique Chable, Estelle Serpolay et Simon Rousselot, j'ai étudié l'activité mycorhizienne de blés de deux dispositifs expérimentaux identiques, conduits en AB, où différents niveaux de diversité génétique étaient représentés.

Intéressé par la recherche scientifique et par les productions agricoles durables depuis mon plus jeune âge, j'ai montré un grand intérêt pour ce stage et l'ensemble des travaux de l'équipe en découvrant le monde de la recherche de l'intérieur.

Dans ce rapport, on trouve dans un premier temps une présentation précise de l'organisme qui m'a accueilli, avant une description des matériels et méthodes utilisés pour mener mes travaux. Ensuite sont présentés les résultats avant d'être discutés. Enfin, les conclusions de l'études et le bilan personnel de mon stage précède les documents annexes évoqués dans le rapport.

CC BY NC ND

Table des matières

INTRODUCTION 1

CONTEXTE DE L'ETUDE 4

1. Présentation de la structure d'accueil 4
   1.1. L'INRA, un institut national d'envergure mondiale 4
   1.2. Le centre de Rennes Bretagne-Normandie 4
   1.3. L'Unité SAD-Paysage et l'équipe BCRP 5
2. Le projet SAFARI 5
   2.1. Présentation 5
   2.2. Problématique 6

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE 7

1. L'intérêt de la biodiversité cultivée 7
   1.1. La diversité intra-variétale 8
   1.2. Les diversités intra et inter-spécifiques 8
2. La symbiose mycorhizienne 9
   2.1. Histoire 9
   2.2. Généralités 9
   2.3. Description des EA 10
   2.4. Facteurs influençant la symbiose mycorhizienne 10
3. Intérêts agronomiques des mycorhizes 11
   3.1. Prise de nutriments 11
   3.2. Gestion hydrique de la plante 12
   3.3. Protection des plantes 12
   3.4. Fertilité du sol 12

MATERIELS ET METHODES : 13

1. Dispositif expérimental 13
   1.1. Le contexte géo-climatique 13
   1.2. Semis et choix des variétés 13
2. Planification des travaux du stage 14
3. Échantillonnage 15
4. Protocole pour observer les racines 15
   4.1. Préparation des racines 15
   4.2. Méthode 16
   4.3. Adaptation aux racines de blé par l'équipe BCRP 16
   4.4. Observation et quantification de la colonisation racinaire mycorhizienne 17
5. Analyses de données 17
   5.1. Représentations graphiques 17
   5.2. Tests statistiques 18

RESULTATS 19

1. Impact de la diversité intra-variétale 19
2. Impact de la diversité inter-variétale 20
3. Impact de la diversité inter-spécifique 22
4. Impact du lieu 23
5. Effet année 23

DISCUSSION 24

1. Pertinence du protocole 24
   1.1. 2016 24
   1.2. Evolution du dispositif 25
2. Des hypothèses aux résultats 25
   2.1. Impact de la diversité génétique 25

2.2. Effet lieu 27
2.3. Effet année 27

CONCLUSION 28

1. Bilan de l'étude 28
2. Bilan personnel 28

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES 30

1. Articles et ouvrages 30
2. Webographie 31

Rapport-Gratuit.com

Champs disciplinaires	En nombre de citations reçues		En nombre de publications	
	Rang mondial	Rang français	Rang mondial	Rang français
Agronomie	2ème/534 organismes	1er	3ème	1er
Biologie végétale et animale	3ème/997 organismes	1er	5ème	1er
Microbiologie	18ème/394 organismes	3ème	13ème	3ème
Environnement/Ecologie	34ème/585 organismes	2ème	15ème	1er

Tableau 1 : Classements mondial et national de l'INRA dans différentes disciplines

Figure 1 : Implantation des différents sites du centre INRA de Rennes Bretagne – Normandie (*rennes.inra.fr, 2016*)

Contexte de l'étude

1. Présentation de la structure d'accueil

Du 4 avril au 29 juillet 2016, j'ai effectué mon stage sur la commune du Rheu (35) au sein d'une équipe de recherche de l'institut public de recherche agronomique et alimentaire de France.

1.1. L'INRA, un institut national d'envergure mondiale

L'INRA, Institut National de la Recherche Agronomique est un EPST (Etablissement Public à caractère Scientifique et Technologique) fondé en 1946. Au sortir de la seconde guerre mondiale, dans un contexte de reconstruction nationale, l'Etat créée l'INRA pour répondre à une demande sociale pressante : "Nourrir la France". L'Hexagone est alors loin de l'autonomie alimentaire et l'agriculture française présente un retard sur d'autres pays. Trois domaines étroitement liés sont concernés par les recherches de l'INRA : l'agriculture, l'alimentation et l'environnement. L'objectif premier est atteint à la fin des années 1960, la production française devenant suffisante pour subvenir aux besoins de la population. Désormais, la mission de l'INRA est de "nourrir durablement le monde".

Aujourd'hui, l'INRA est le 1er institut de recherche agronomique européen et le 2e en sciences agricoles dans le monde en considérant le nombre de publications. On y trouve 186 unités de recherche et 49 unités expérimentales qui correspondent à 13 départements de recherche et 8 métaprogrammes. L'INRA embauchait en 2014 8290 agents titulaires, dont 1840 chercheurs et plus de 2000 ingénieurs. 2552 stagiaires ont été accueillis et 510 doctorants rémunérés.

Nous avons donc là un acteur important de la recherche agronomique à l'international, présent dans 17 centres régionaux, sur plus de 150 sites en France métropolitaine et en Outre-mer.

source : institut.inra.fr

1.2. Le centre de Rennes Bretagne-Normandie

Le centre INRA Rennes Bretagne-Normandie, créé en 1946 est un des premiers centres construits, l'année même de la création de l'Institut. Avec 20 unités de recherche qui regroupent un collectif de plus de 1100 personnes, c'est l'un des centres régionaux les plus importants. Rien d'étonnant puisqu'il est situé au cœur d'une des premières régions agricoles françaises. Les recherches de ce centre visent donc à répondre aux enjeux de durabilité dans les filières agricoles et agroalimentaires sur des territoires à forte densité de production.

Le centre se partage entre 10 sites, 8 sont situés en Bretagne et 2 en Normandie, comme le montre la carte ci-contre (figure 1). On ne voit que 9 communes car il y a deux sites différents sur la commune de Rennes. C'est sur le site de Le Rheu que j'ai effectué mon stage. L'unité qui m'a accueilli est l'unité SAD-Paysage.

source : rennes.inra.fr

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DES MÉMOIRES

1.3. L'Unité SAD-Paysage et l'équipe BCRP

"Les recherches de l'unité SAD-Paysage (Sciences pour l'Action et le Développement - Paysage) visent à produire des connaissances sur les relations entre activités agricoles, dynamiques du paysage et de la biodiversité. Ces recherches sont orientées vers la construction de méthodes d'aide à la décision, pour des acteurs de la gestion des paysages et de la biodiversité (agriculteurs, agents du développement agricole et territorial, acteurs de l'action publique)." (source : *site internet de l'Unité)*

L'unité s'est organisée en 3 équipes travaillant sur différents domaines : Ecologie du paysage et des communautés, Agronomie et zootechnie systémique et Biodiversité cultivée et recherche participative (BCRP). C'est au sein de cette dernière que j'effectue mon stage. Cette équipe, axée sur l'agroécologie et le développement de la biodiversité cultivée est la seule de l'unité à avoir ses locaux au Rheu. Les autres locaux de SAD-Paysage sont sur le site de Rennes au sein de l'école d'Agrocampus Ouest.

L'équipe BCRP est coordonnée par Véronique Chable qui est ingénieur de recherche INRA. On y trouve aussi Estelle Serpolay-Besson, ingénieur d'étude de l'ITAB (Institut Technique de l'Agriculture Biologique) mise à la disposition de l'INRA. La composition de l'équipe est disponible en Annexe.

Que se cache-t-il derrière le nom Biodiversité Cultivée et Recherche Participative ? La recherche participative « se caractérise par un processus de production des connaissances effectué de concert avec les acteurs de terrain » (définition donnée par la Presse de l'Université du Québec). C'est-à-dire que dans le cas de BCRP, des fermes participent aux différents projets qui sont établis en collaboration avec tous les partenaires. Les agriculteurs comme les autres partenaires établissent les objectifs et discutent les orientations des recherches. En pratique, ils sont libres d'une grande partie des itinéraires techniques culturaux empruntés dans le cadre fixé en commun. Il en résulte des résultats diversifiés puisque les expérimentations n'ont pas lieu dans des conditions environnementales contrôlées. S'ils sont parfois plus durs à interpréter du fait du nombre de variables mises en jeu (diversité des sols, climats, et techniques des fermes partenaires), les résultats viennent en revanche directement du terrain dans des conditions réelles de production, pour une valorisation rapide des expérimentations par les professionnels. L'équipe BCRP est engagée dans différents projets portant principalement sur les variétés populations et la diversité cultivée (intra et inter-spécifique) en grandes cultures et cultures potagères dans différentes régions en France. C'est donc la diversité végétale qui est étudiée dans l'équipe BCRP, mais celle-ci a un effet sur la diversité animale (ravageurs et auxiliaires des cultures notamment) et sur l'environnement dans sa globalité.

source : www6.rennes.inra.fr/sad/ + équipe

2. Le projet SAFARI

2.1. Présentation

Mon stage porte sur un dispositif expérimental inclus dans le projet SAFARI. SAFARI est un acronyme pour SAnté, Fertilité, Adaptation et RésIlience. Réalisé sur des fermes en Bretagne et Pays de Loire, il est financé par

CC BY NC ND

ces deux régions via le Pôle Agronomique Ouest (PAO). Les expérimentations dans le réseau de fermes sont gérées par l'équipe BCRP, des expérimentations ont aussi lieu à la ferme expérimentale de Thorigné d'Anjou (49), et en laboratoire au LEVA (Laboratoire d'Ecophysiologie Végétale d'Angers). Ce projet a débuté en 2013 et se poursuit jusqu'en 2017. Son objectif principal est d'améliorer les connaissances pour la culture du blé tendre, notamment dans les systèmes sans intrant de synthèse et étudier l'intérêt de la diversité cultivée grâce aux mélanges variétaux (de blés) et spécifiques (association blé-légumineuse) en AB ou sans intrant. L'originalité est d'observer en outre les capacités d'adaptation de cette diversité au cours de générations successives : 3 années d'essais, avec chaque année un semis de la récolte précédente pour chaque modalité. Le nombre d'agriculteurs qui effectuent cette sélection de populations dynamiques est croissant ces dernières années, ainsi que les surfaces de cultures associées et en mélanges, mais les études sur ces sujets sont encore peu nombreuses.

Dans ce projet sont pris en compte de nombreux paramètres (levée, pression adventice, résistance aux maladies, hauteur des pailles, rendements, teneurs en protéines...) comparés pour 6 niveaux de diversité représentés par des variétés et des mélanges différents :

- 2 types de variétés : commerciales et populations représentés par 3 variétés chacun.
- 3 niveaux de diversité pour chacun des types : variétés pures, mélange des variétés, association entre le mélange de variétés et une ou plusieurs légumineuses.

Les expérimentations sont menées sur trois fermes en Ille-et-Vilaine (35), une en Loire-Atlantique (44), une en Maine-et-Loire (49) et une en Mayenne (53). Cinq de ces fermes sont en AB.

Le projet est suivi au quotidien par l'équipe BCRP et par l'ESA (Ecole Supérieur d'Agriculture) d'Angers pour les aspects scientifiques et par le PAO pour la coordination avec les financeurs et les aspects administratifs.

2.2. Problématique

Parmi les différentes problématiques soulevées par ce projet, on trouve les interactions entre les plantes et leur environnement, notamment avec la vie biologique du sol. Au cours de ce stage, j'ai observé l'influence des différents modes de culture du blé sur la symbiose mycorhizienne. Cette symbiose, largement expliquée dans la synthèse bibliographique est multifactorielle, mais révèle la capacité d'interaction plante-environnement au niveau de la rhizosphère (zone du sol à proximité des racines). L'hypothèse est que la baisse de diversité génétique dans une parcelle diminue ces interactions bénéfiques aux plantes et au sol pour les années suivantes. Il en découle les trois hypothèses suivantes que nous tenterons de vérifier :

1. Les variétés populations mycorhizent plus que les variétés modernes (diversité intra-variétale)
2. Les mélanges de variété mycorhizent plus que les variétés cultivées en pur (diversité inter-variétale)
3. Les mélanges associés à une légumineuse mycorhizent plus que les mélanges variétaux non-associés (diversité inter-spécifique)

CC BY NC ND

Synthèse bibliographique

1. L'intérêt de la biodiversité cultivée

La biodiversité cultivée est un thème de recherche récent et en développement. On constate une dangereuse chute de la biodiversité depuis quelques décennies, l'agriculture moderne est en partie responsable mais aussi victime. Les remembrements de la seconde partie du XXe siècle ont en effet entraîné la destruction de milliers de kilomètres de haies bocagères, barrières physiques contre les maladies et ravageurs, mais aussi refuges de faunes auxiliaires, zones humides et au sol biologiquement actif. Dans ces conditions, nombre d'espèces ne pouvaient plus être cultivées sans recours aux controversés et coûteux produits phytosanitaires et engrais de synthèse. En outre, la diversité dans les cultures permet d'assurer un certain revenu à l'agriculteur, d'autant plus dans un contexte d'instabilité climatique récente un peu plus marquée chaque année.

Un grand nombre d'espèces animales et végétales ont disparu ou sont menacées par le recours quasi-systématique aux cultures pures de variétés dites « améliorées » (ou variétés modernes ou commerciales). La commercialisation des semences nécessite l'inscription des variétés au catalogue officiel imposant à celles-ci trois critères : "distinction, stabilité, homogénéité", notamment en Europe, entrainant une chute de la diversité génétique des cultures. Ces variétés modernes sont utilisées de manière très majoritaire. Leur homogénéité facilite la stabilité des caractères d'une variété choisie, et l'assurance de critères recherchés pour l'exploitant qui achète des semences. En revanche, cette homogénéité peut avoir des conséquences importantes : si la variété se révèle sensible à un nouveau paramètre environnemental, l'ensemble des champs qu'elle compose risque d'importantes pertes. De plus cette baisse de biodiversité est préjudiciable aux agro-éco-systèmes qui trouvent leur équilibre dans la diversité.

En outre, ces variétés ont été en partie sélectionnées sur leur capacité à valoriser les intrants chimiques (engrais et produits phytopharmaceutiques). Or, les interdictions de produits phytopharmaceutiques se multiplient au fur et à mesure de découvertes d'effets nocifs sur l'Homme et/ou l'environnement. De surcroit, le changement climatique est menaçant, la prise de conscience de l'urgence est grandissante et les engrais chimiques contribuent grandement aux émissions de gaz à effet de serre. Ainsi l'épandage de 100 kg d'azote de synthèse sur 1 ha contribue autant à l'effet de serre qu'une voiture parcourant 10 000 kilomètres. En cause : les grandes quantités d'énergie fossile nécessaire à la synthèse des molécules et le dégagement au champ de protoxyde d'azote lors de l'épandage, qui a un effet de serre 298 fois supérieur au CO_2 (*Caplat, 2014*). On constate aussi que les ressources en phosphore minier diminuent à une vitesse inquiétante, le pic d'extraction est prévu entre 2040 et 2050. Ces variétés ne semblent donc pas parfaitement adaptées aux besoins de l'agriculture de demain qui ne pourra pas autant compter sur les intrants que celle d'aujourd'hui. Cultiver la même variété, constituée de génotypes identiques, sous des climats et sur des sols très différents relève d'ailleurs d'une incohérence avec ce que nous enseignent les sciences du vivant. Enfin, la situation économique catastrophique de nombreux agriculteurs les pousse à diminuer les charges de leurs entreprises et la volatilité des prix des intrants peut amplifier une mauvaise conjoncture.

CC BY NC ND

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

1.1. La diversité intra-variétale

Ce début de siècle a été marqué par la renaissance de la sélection paysanne dynamique, qui assure une adaptation continue des variétés aux terroirs dans lesquels elles sont cultivées. En effet, les variétés populations sont des variétés hétérogènes génétiquement, et elles peuvent être re-semées d'une année sur l'autre avec un travail de sélection pour maintenir les caractères d'intérêt et un soin particulier pour obtenir et conserver la qualité germinative des semences. Une fois la variété choisie, c'est donc l'agriculteur qui choisit ces caractères en orientant sa sélection et en ne re-semant que les graines issues d'individus répondant aux critères choisis (ou en éliminant les plantes qui ne correspondent pas aux critères recherchés). On peut ainsi sélectionner en fonction de la hauteur, de la taille de l'épi, de la résistance au désherbage mécanique, du comportement en association avec une autre espèce etc... Elles sont donc adaptatives et évolutives, et s'adaptent au terroir dans lequel elles sont cultivées. Si le rendement en grains est généralement inférieur à celui des variétés modernes, le rendement en paille est souvent très nettement supérieur. Ce critère peut se révéler très intéressant pour les polyculteurs-éleveurs, notamment en bio, qui ont souvent du mal à atteindre l'autonomie en paille. Les variétés populations sont également beaucoup plus rustiques que les variétés issues de la sélection moderne.

Si les variétés population ont en général un rendement régulier en quantité (les forces et faiblesses des différents génotypes s'équilibrent communément), la régularité de la qualité des grains est plus problématique, notamment pour la transformation. On note cependant qu'elles sont généralement plus riches en protéines que les variétés modernes.

sources : (CAB Pays de Loire, 2011) + (Doré, Varoquaux, 2006) + journée autour des blés populations du 4 juillet 2016 organisée par le GABB Anjou (Groupement des Agriculteurs Biologistes et Biodynamistes d'Anjou)

1.2. Les diversités intra et inter-spécifiques

Ces dernières années voient aussi une croissance importante de la culture de céréales en mélanges variétaux et en association avec des légumineuses. Les mélanges variétaux ont l'avantage de compenser des différences de rendements entre variétés selon les années et confèrent une meilleure tolérance aux maladies, le degré de sensibilité variant d'une variété à l'autre pour une maladie donnée. L'association de cultures consiste à cultiver deux espèces différentes en association, elle réduit la concurrence nutritionnelle (deux plantes différentes n'ont pas les mêmes besoins et seront donc moins concurrentes que deux plantes identiques ou de la même espèce côte à côte). De plus, les légumineuses, souvent utilisées dans les associations, captent l'azote de l'air plutôt que de puiser dans le sol, et restituent même de l'azote au sol pour les années suivantes. La résistance aux maladies et ravageurs et également meilleure puisque la concentration de plantes identiques ou de la même espèce est plus faible. Un rendement est toujours supérieur en associant deux plantes différentes dans la même parcelle qu'en les séparant en deux demi-parcelles de cultures pures distinctes (*Caplat, 2014*).

Rapport-Gratuit.com

2. La symbiose mycorhizienne

Mycorhize est un mot issu du grec: *myco* = champignon et *rhiza* = racine. Il décrit une relation symbiotique entre des champignons du sol et les racines des plantes. Une symbiose est une association mutualiste entre plusieurs espèces qui leur profite en se basant sur des bénéfices réciproques apportés par leurs interactions.

2.1. Histoire

C'est au cours du XIXe siècle que différents naturalistes européens (français, italiens et allemands notamment) observent pour la première fois des champignons sur les racines de végétaux. Ils pensent d'abord qu'il s'agit de parasitisme, c'est-à-dire que les champignons tirent profit des végétaux en leur nuisant. C'est Albert Bernhard Frank, un biologiste allemand qui est le premier à imaginer et mettre en évidence l'aspect symbiotique de cette relation et qui invente le terme de mycorhize dans la seconde partie du XIXe. A l'époque, les seules mycorhizes observées sont les ectomycorhizes (*ecto* = à l'extérieur), visibles à l'œil nu ou à la loupe. On les trouve essentiellement chez les plantes ligneuses, les filaments des champignons forment un manchon plus ou moins dense recouvrant la racine.

Au cours du XXe siècle, plusieurs chercheurs décrivent et étudient d'autres mycorhizes que celles des arbres forestiers. On découvre alors les endomycorhizes (*endo* = à l'intérieur). Parmi elles il y a les endomycorhizes arbusculaires (EA), les plus répandues, que l'on trouve chez environ 80% des plantes actuelles connues (>400 000 espèces). Ce type de symbiose serait le plus ancien, apparu il y a un demi-milliard d'années, lorsque les végétaux ont commencé à coloniser les terres émergées. C'est au cours des années 80 avec l'essor des techniques de biologie moléculaire que l'on en apprend plus sur les mycorhizes. On sait désormais que les plantes qui n'ont pas de mycorhizes sont rares. (*Garbaye, 2013*)

2.2. Généralités

Les champignons constituent un règne distinct des règnes animal et végétal, les deux autres règnes d'organismes pluricellulaires. Ils possèdent des points communs avec chacun d'entre eux. Ainsi, comme chez les végétaux les cellules sont enveloppées d'une paroi rigide, la vie est fixée et l'absorption de nourriture se fait sous forme de molécules en solutions dans l'eau et l'on trouve des vacuoles dans des cellules ; comme chez les animaux, les réserves sont accumulées sous forme de glycogène et non pas d'amidon, et il n'y a pas de photosynthèse, ils sont hétérotrophes vis à vis du carbone. Cette hétérotrophie les oblige donc à se nourrir de matière organique (MO) préexistante. Ils sont alors soit saprophytes (se nourrissent de MO morte ou en décomposition), commensaux (se nourrissent en tirant profit d'un hôte sans lui nuire), parasites (se nourrissent sur un hôte en lui nuisant), rarement carnivores (ils piègent des proies animales pour s'en nourrir) ou enfin symbiotiques. Ce qui est le cas des mycorhizes. Cette symbiose offre une augmentation importante de l'alimentation hydrique et minérale de la plante. En effet, le champignon a un rendement énergétique bien plus intéressant qu'une racine, c'est à dire qu'il lui faut dépenser beaucoup moins d'énergie pour développer une même surface d'absorption. De plus, les hyphes mycorhiziens sont beaucoup plus fins que les poils absorbants

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DES MÉMOIRES

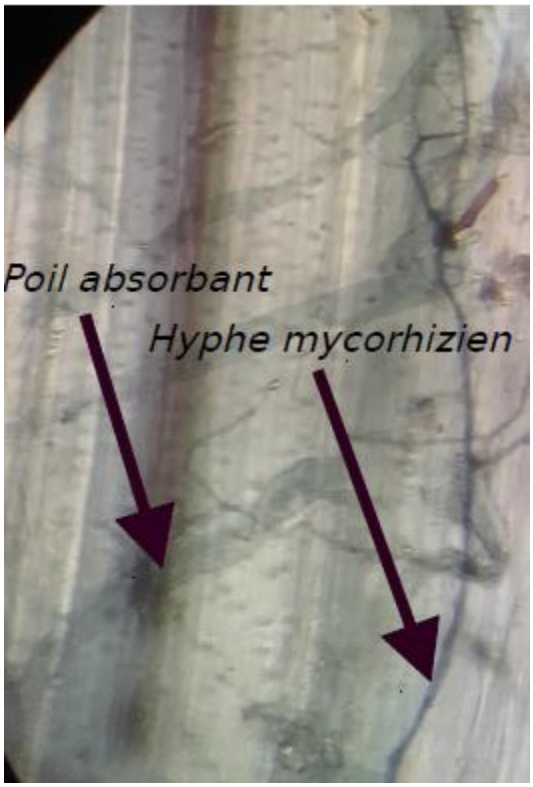


Figure 2 : Observation au microscope optique effectuée lors du stage

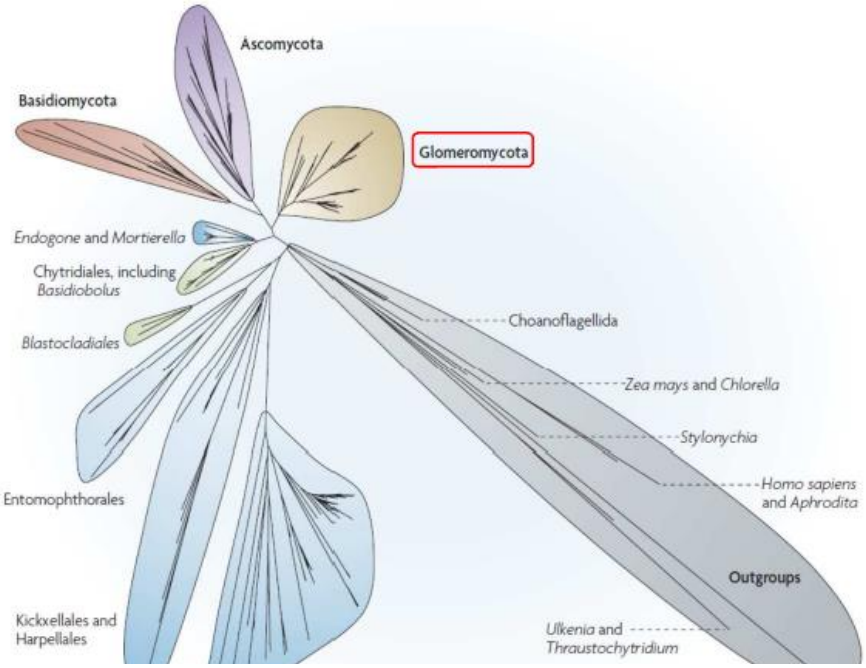


Figure 3 : Classement des espèces fongiques et phylogénie des *Gloméromycètes* (d'après Parniske, 2008)

des racines et peuvent atteindre des interstices que la plante seule n'aurait jamais pu exploiter (voir ci-contre : observation au microscope optique effectuée pendant mon stage). Ainsi, le volume de sol exploré par une plante peut augmenter d'un facteur allant de 10 à 1000 pour une plante en présence de champignons mycorhizogènes par rapport à une plante à racines nues.
(*Garbaye, 2013*) et (*Fortin et al., 2015*)

2.3. Description des EA

Chez les céréales, les mycorhizes que l'on trouve sont des EA, comme chez l'immense majorité des plantes cultivées. Si les ectomycorhizes sont généralement des Basidiomycètes ou des Ascomycètes, les EA sont de la classe des Gloméromycètes, avec environ 250 espèces mycorhizogènes (voir ci-contre : classement des espèces fongiques). Une même espèce peut coloniser un grand nombre d'espèces végétales et une même plante peut être associée à des espèces différentes d'EA en même temps. Comme dans toutes les endomycorhizes, le champignon pénètre non seulement les tissus racinaires mais aussi certaines cellules (voir schéma page suivante, figure). Les hyphes (filaments caractéristiques des champignons et de certaines algues, ici multi-nucléés) y sont alors pelotonnés et forment des petits nuages ou petits arbres dans les cellules, d'où la dénomination "arbusculaire". Ces arbuscules correspondent aux zones d'échange entre la plante et le champignon. Les EA sont constituées de 3 organes : les hyphes, organes de prélèvement qui constituent le réseau du mycélium couvrant l'ensemble de la parcelle, les vésicules qui sont les organes de stockage et les arbuscules, organes d'échanges avec la plante. A cela s'ajoutent les spores, qui permettent la reproduction du champignon. (Fortin, 2015) (*Douds, Millner, 1999*)

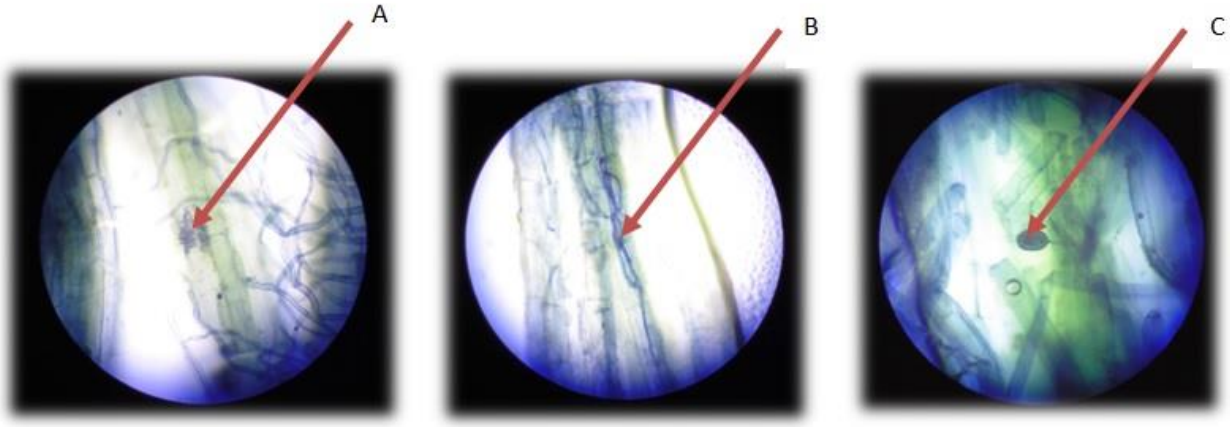


Figure 4 : Observation au microscope optique d'organes mycorhiziens :
A : Arbuscule **B : Hyphe** **C : Vésicule**
source : C. Devineau, stagiaire sur la même étude en 2015

2.4. Facteurs influençant la symbiose mycorhizienne

La capacité d'un système sol-plante à mycorhizer est influencée par un grand nombre de facteurs dont on ne pourrait établir une liste exhaustive. On peut cependant citer les critères impactant le plus cette symbiose. En

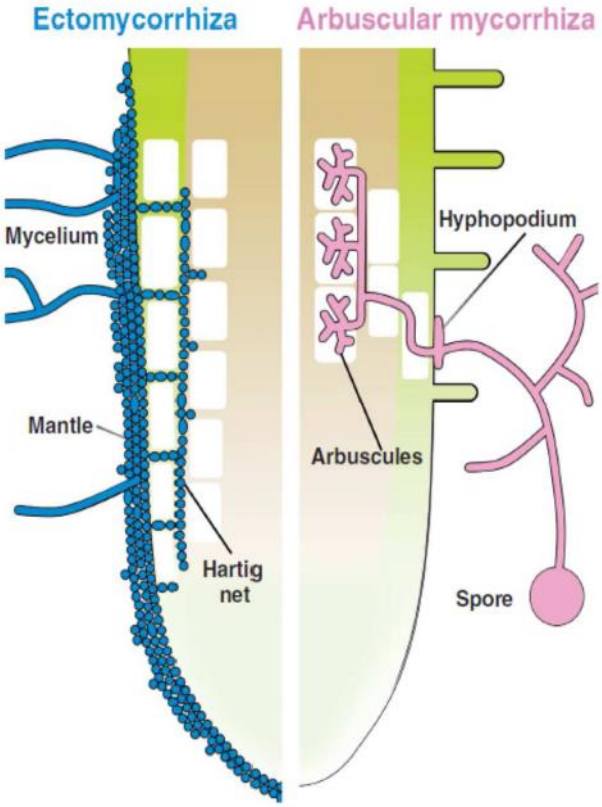


Figure 5 : Schéma montrant l'implantation des ectomycorhizes et des EA dans la racine (*Bonfante et al. 2010*)

terres arables, le plus important est l'ensemble des pratiques culturales. Ainsi l'usage de pesticides est néfaste au développement de cette symbiose. Logiquement, les fongicides tuent ou affaiblissent les champignons, qu'ils soient parasites ou symbiotiques des plantes. Des études ont également prouvé que des herbicides (au moins le glyphosate, probablement d'autres) modifient la physiologie de la plante hôte et diminuent sa capacité à mycorhizer (*Zaller et al., 2014)*. Certains insecticides, comme le diflubenzuron sont également délétères au développement des mycorhizes (*Trappe et al., 1984)*. Le travail du sol influence aussi cette symbiose. Ainsi, un labour trop profond enfouit les spores en profondeur et les met à une distance lointaine de la rhizosphère, diminuant la capacité des organismes à se rejoindre.

Un autre facteur très important (le plus important pour certains) est la disponibilité des éléments peu mobiles comme le Phosphore ou le Zinc. En effet, une plante qui peine à trouver ces ressources a besoin de l'association avec le champignon pour vivre. Une faible teneur en Phosphore, un des principaux éléments constitutifs de la plante, augmente tout particulièrement l'activité symbiotique mycorhizienne de la plante. Mais si la plante est bien nourrie en présence de mycorhizes, elle régule le degré de colonisation en modifiant la quantité synthétisée d'acide jasmonique. Dans un sol sur-fertilisé, les mycorhizes ne sont plus indispensables au développement de la plante qui limite alors l'association symbiotique. D'autres facteurs tels que la présence de haies à proximité d'une parcelle ou la durée de la rotation culturale influent sur la vie biologique du sol et donc sur la symbiose mycorhizienne qui dépend directement de cet activité biologique. Un couvert végétal constant du sol favorise également cette symbiose tandis que l'hydromorphie lui est néfaste. (*Douds, Millner, 1999*)

3. Intérêts agronomiques des mycorhizes

3.1. Prise de nutriments

En l'absence de fertilisation chimique, les éléments peu voire pas mobiles comme le Phosphore et le Zinc sont difficiles à prélever pour les racines. Pour y parvenir, le système racinaire doit être abondamment développé, ce qui a un coût énergétique très important pour la plante. L'énergie utilisée à ces dépens ne servirait pas à la croissance et à la reproduction de la plante, ce qui intéresse généralement l'homme. C'est le réseau mycélien des mycorhizes qui résout le problème : en effet les champignons mycorhiziens sont très performants pour générer un maximum de surface d'absorption en utilisant un minimum d'énergie. La plante dont la rhizosphère contient des mycorhizes dispose ainsi de plus d'énergie pour fabriquer et faire croître ses parties aériennes. Les racines "sous-traitent" ainsi une partie de leur travail aux champignons qui ont en rendement énergétique bien plus intéressant.

En outre, des études ont constaté une association symbiotique étroite entre les mycéliums des champignons arbusculaires et des bactéries du sol ayant la capacité de dissoudre des minéraux, les rendant disponibles pour le champignon et la plante. (*Fortin et al., 2015*)

3.2. Gestion hydrique de la plante

Le rôle des mycorhizes face au stress hydriques est également capital. Ainsi l'augmentation de la surface d'absorption augmente la capacité à être nourrie en eau : le fin mycélium des champignons peut atteindre de petits interstices et des agrégats du sol inaccessibles aux racines voir figure 2 (p.10). De plus, les EA déclenchent un signal chimique en cas de sécheresse qui entraîne une fermeture plus rapide des stomates évitant alors un flétrissement irréversible. *(Garbaye,2013*)

3.3. Protection des plantes

Les mycorhizes aident la plante à contrer les agressions causées par des bactéries, champignons, nématodes et insectes vecteurs de maladies, en intervenant à trois niveaux : dans la rhizosphère, dans les tissus racinaires et en servant de voie de communication entre les plantes. Dans la rhizosphère, les mycorhizes limitent la prolifération des champignons pathogènes par compétition, en jouant un rôle antagoniste de la flore microbienne. De plus, les mycorhizes induisent des modifications des activités physiologiques de la plante hôte. Les champignons génèrent en effet une production plus importante des substances antibiotiques de la plante contre les pathogènes. A cela s'ajoutent la synthèse et la diffusion par la plante d'acide jasmonique induites par la présence des EA. Cette molécule régulatrice de la colonisation mycorhizienne exerce aussi une influence sur les espèces d'insectes qui broutent le feuillage des plantes en modifiant ses propriétés organoleptiques. Enfin les mycorhizes permettent aux plantes de communiquer entre elles. Ainsi, sous 1m² de prairie, on estime à 90m² la surface occupée par le mycélium, qui relie les plantes les unes aux autres, y compris des plantes d'espèces et de familles différentes. Des chercheurs écossais ont démontré que l'attaque d'une plante par des pucerons entraîne l'envoi d'un message déclenchant les réactions de défenses biochimiques des plantes environnantes via le mycélium commun. Par exemple, si la partie Ouest d'une parcelle subit une agression, les plantes de la partie Est seront prévenues et réagiront avant d'y être confrontées directement. Enfin, les mycorhizes séquestrent différentes substances toxiques, comme les métaux qui se solubilisent à pH acide, via des structures appelées sidérophores. Pour aboutir à ces structures, les EA modifient localement le pH du sol autour de ces ions pour les rendre inoffensifs. Ils permettent ainsi le développement de plantes dans un environnement hostile. (*Fortin et al., 2015*)

3.4. Fertilité du sol

En favorisant la formation d'agrégats, la symbiose mycorhizienne est un pilier essentiel de la fertilité physique d'un sol. Le réseau de mycélium développé par les mycorhizes constitue une structure dynamique du sol se développant à la vitesse de quelques millimètres par jour. Le renouvellement de ce réseau est constant (durée de vie moyenne des organes mycorhiziens : une semaine). En effet quand la teneur en éléments nutritifs d'un site devient trop faible, le champignon abandonne son exploration, le cytoplasme migre et il ne demeure que des "tuyaux vides". En outre, les mycéliums excrètent une glycoprotéine difficilement décomposable : la glomaline. Abondante dans la majorité des sols, elle représente une fraction importante du carbone séquestré dans les sols de la planète. Dans certains sols, les mycorhizes peuvent représenter 40% de la biomasse

CC BY NC ND

Figure 6 : Photos aériennes des parcelles étudiées, à gauche celle du LEGTA Théodore Monod, Le Rheu (35), à droite celle des Petits Chapelais à Chavagne (35)

Figure 7 : Implantation des différents lieux où prend place l'étude : les deux fermes et le laboratoire de l'équipe BCRP

microbienne et jusqu'à 30% de la biomasse racinaire. Les quantités de glomaline excrétées peuvent donc être importantes, et le rôle de cette glycoprotéine dans la stabilité structurale des sols a été démontré par plusieurs études. Elle permet en effet l'assemblage des particules les plus fines du sol pour en faire des agrégats. Le rôle de ces agrégats dans l'infiltration de l'eau, la rétention des éléments minéraux et les échanges gazeux est connu et démontré. Cela permet également de limiter l'érosion et d'améliorer l'aération du sol et la répartition de l'eau. La contribution des réseaux mycéliens dans la fertilité des sols est donc physique mais aussi biologique et chimique tout en permettant un maintien du stock de matière organique. (*Garbaye, 2013*)

Matériels et méthodes :

L'objet de cette partie est la description de l'ensemble des outils matériels et analytiques ainsi que des processus employés au long de ce stage.

1. Dispositif expérimental

1.1. Le contexte géo-climatique

Les expérimentations sont menées depuis l'automne 2013 et jusqu'à l'été 2017 dans 6 fermes. Les deux qui nous intéressent pour l'observation des mycorhizes sont situées sur les communes du Rheu (35) et de Chavagne (35). Il s'agit respectivement du LEGTA Théodore Monod, en AB depuis 2012 et du GAEC des Petits Chapelais, chez Gilles Simonneaux, en AB depuis 1998. Dans les graphes, on trouve les sigles AD et GS. AD correspond à André Despinas, le responsable de la partie cultures du LEGTA ; GS correspond à Gilles Simonneaux.

Les photos aériennes des parcelles sont visibles en figure 6. Le précédent est un maïs sur chacune des deux parcelles. Aux Petits Chapelais, les parcelles ne sont labourées que pour casser les prairies, mais le travail est superficiel entre les différentes cultures tandis qu'au lycée, un labour est effectué entre chaque culture. Les textures sont proches, la parcelle du lycée est sur un limon et celle de Gilles est sur un sol limoneux. Chacun de ces sols est globalement bien fourni en éléments et dispose d'un bon potentiel agronomique (voir analyses de terres en Annexe). Les parcelles ne sont distantes que de 4,5 km et connaissent donc les mêmes conditions climatiques (voir l'implantation des sites en figure 7). La campagne 2015-2016 a été marqué par un hiver extrêmement doux et des précipitations légèrement supérieures à la normale dans la région rennaise.

1.2. Semis et choix des variétés

Les semis ont été effectués les 4 et 5 novembre 2015 aux Petits Chapelais et le 10 novembre 2015 au lycée. Les variétés semées sont les mêmes dans les deux fermes : 3 modernes : Renan, Chevalier et Pirénéo et 3

Rapport-Gratuit.com

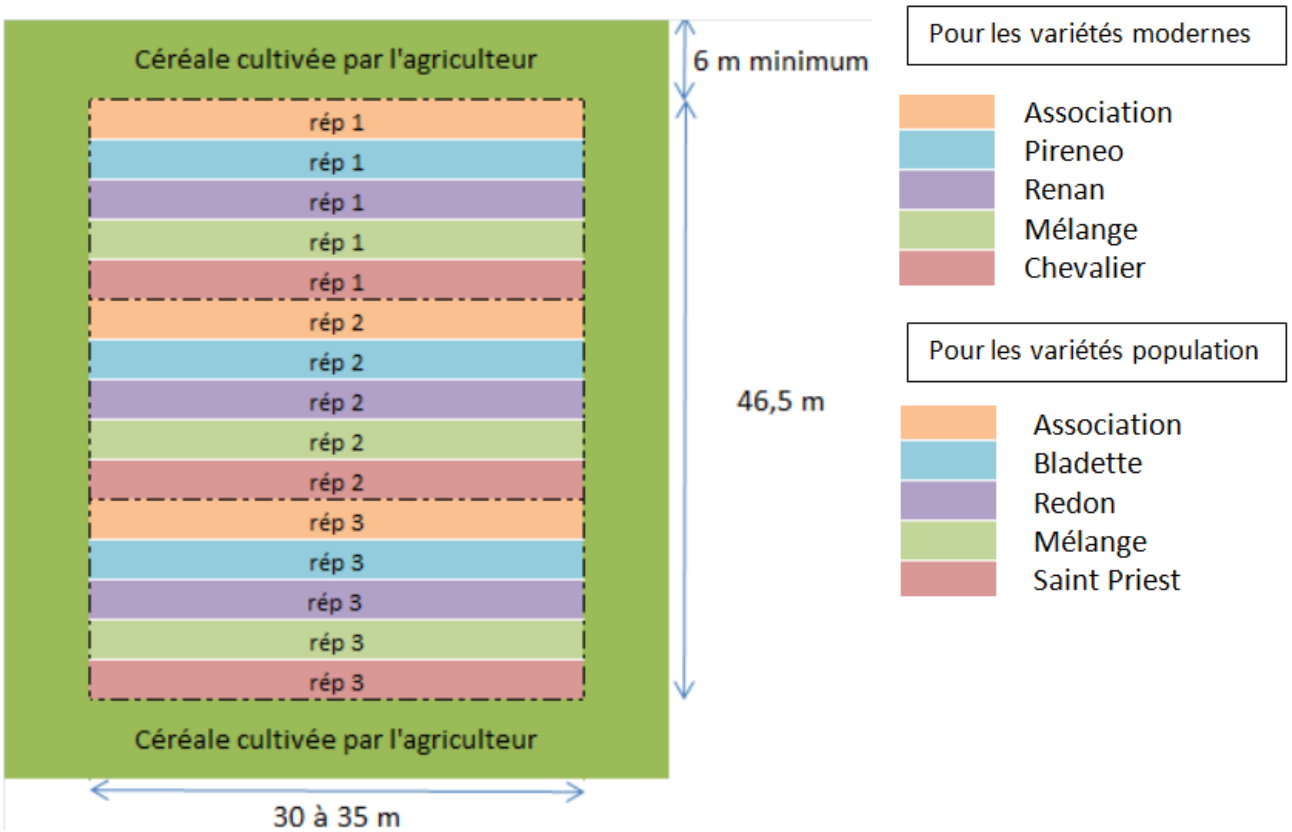


Figure 8 : Schéma d'un bloc de modalités du dispositif pour un type de variété

populations : Redon Roux Pâle, Bladette de Provence et Saint-Priest & le Vernois Rouge. Parmi les variétés modernes, Renan a été choisie car elle est la variété la plus cultivée en AB sur le territoire français (1/3 des surfaces). Chevalier et Pireneo ont été choisies pour les différences de leurs caractéristiques : Chevalier fait de gros rendements et résiste bien aux maladies, tandis que Pireneo est plutôt connu pour ses bons taux de protéines (voir caractéristiques évaluées par *Arvalis* en Annexe). La hauteur moyenne et le port des feuilles diffèrent aussi de l'une à l'autre. L'intérêt de choisir un témoin et deux variétés très différentes est d'étudier leur comportement en mélange dynamique. Pour les variétés populations, les caractéristiques sont beaucoup moins figées que des variétés commerciales, le choix des variétés a reposé sur leur diversité d'origines géographiques (voir caractéristiques en Annexe). En plus de 6 modalités où chacune de ces variétés est cultivée en pure, il y a deux modalités où l'on a un mélange des 3 variétés modernes (une avec légumineuse et une sans) et deux modalités où l'on a un mélange des 3 variétés populations (idem). Dans le cadre de Recherche Participative du projet, les pratiques culturales correspondent aux conditions de production et sont choisies par les agriculteurs, dont la seule consigne est de ne pas ajouter d'intrant après le semis. L'avantage pour l'étude de la mycorhization est que ces deux fermes ont, excepté le travail du sol, exactement le même itinéraire technique. En effet, le lycée, peu habitué aux cultures céréalières, à choisi les mêmes modalités de semis que chez Gilles. Il s'agit de 350 grains/m² pour les variétés populations et de 380 grains/m² pour les variétés modernes. En populations, le semis est moins dense pour limiter les phénomènes de verse de ces variétés à pailles hautes, et pour compenser le tallage plus important de ce type de variétés. Le choix de la légumineuse associée aux mélanges est également libre pour les fermes du projet, mais ces deux fermes sont encore dans les mêmes paramètres. La légumineuse est une féverole et la densité de semis est de 8,3 grains/m² pour les associations avec les variétés modernes et 6,2 grains/m² avec les populations. Les parcelles sont séparées en deux blocs de 15 bandes : un bloc pour les modalités avec variétés modernes et un autre pour les modalités populations. Ces 15 bandes correspondent à 3 répétitions de chacune des 5 modalités. Voir ci-contre : schéma d'un bloc du dispositif expérimental.

2. Planification des travaux du stage

Après avoir pris connaissance des tâches que j'avais à effectuer, je me suis fixé des échéances à respecter. Ci-dessous le déroulement prévu de mon stage :

- -Bibliographie sur les mycorhizes et la sélection paysanne, notamment en blé, prise de connaissance du projet SAFARI et observation des résultats des années précédentes : 04/04-25/04
- Prélèvements des blés au stade montaison dans les deux fermes où l'on trouve l'ensemble des modalités : le Lycée Agricole Théodore Monod à Le Rheu (35), et la ferme Les Petits Chapelais à Chavagne (35). Puis nettoyage des systèmes racinaires et séchage en vue des observations : 26/04-02/05.
- Test des protocoles des années antérieures et adaptation du protocole avec les surplus de prélèvements ; entraînement aux observations : 02/05-04/05

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Figure 10 : séchage des systèmes racinaires après leur nettoyage

- Observation des 240 systèmes racinaires prélevés (quatre systèmes racinaires par répétition, trois répétitions par modalités et dix modalités par ferme) : 09/05-01/07
- Analyse statistique des résultats, réalisation de graphiques, travail de vulgarisation scientifique, rédaction du rapport de stage : 01/07-/29/07

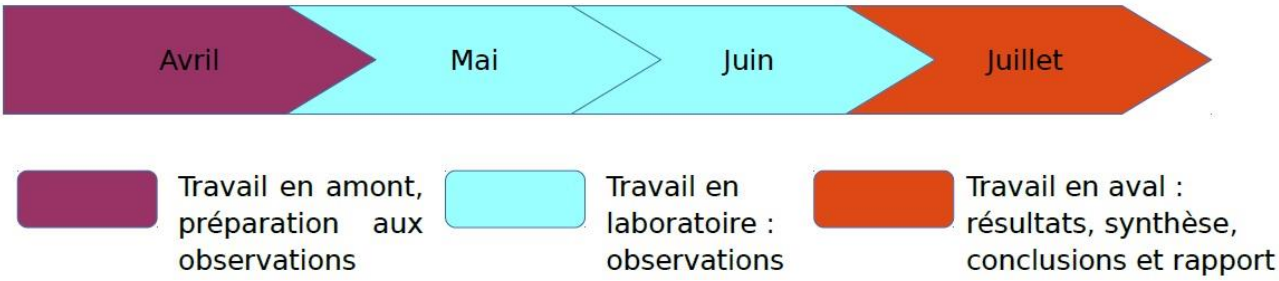


Figure 9 : planning de mon stage réalisé début avril

3. Échantillonnage

Les prélèvements pour observations ont été effectués les mardi 26 (au Lycée) et mercredi 27 (chez Gilles) avril au stade début montaison. Dans chaque bande de répétition, 4 individus devaient être prélevés, mais j'en ai prélevé 5 à 6 pour être sûr d'avoir 4 individus bien observés par bande. La suite m'a d'ailleurs donné raison puisque des erreurs de manipulations m'ont empêché d'observer 3 individus au total, j'ai donc pu les substituer par une autre plante de la même bande. Les prélèvements sont effectués de manière aléatoire, tous les 5 pas dans une bande, à plus de 50cm du bord pour éviter un effet "bordure". Ceux-ci ont lieu au stade montaison car les besoins en phosphore sont maximums à cette période, en faisant le pic d'activité mycorhizienne. Les plantes prélevée sont placées dans un sac en papier portant la référence de l'échantillon.

Etant donné qu'il y a 3 bandes par modalité, on a 12 plantes par modalité et par lieu. Avec 10 modalités (5 populations, 5 modernes) par lieu on a donc 240 plantes au total. Sur chacune de ces plantes, on observe 10 morceaux de racines. Ces morceaux sont observés deux fois. Au final, on obtient un total de 4800 observations à effectuer.

4. Protocole pour observer les racines

4.1. Préparation des racines

Une fois prélevées, les plantes sont lavées pour les débarrasser de la terre et faciliter les observations. Elles sont ensuite placées à l'air libre pour sécher (voir photo, figure 10).

Il faut observer 10 fragments racinaires par individu. On sélectionne des racines qui ont toujours leur cortex racinaire (zone préférentielle de colonisation des mycorhizes), cette sélection s'effectue au toucher. En effet les

racines qui n'ont plus de cortex sont beaucoup plus lisses que les autres, et on peut donc les écarter. Il faut que les racines soient suffisamment fines pour être colonisables par les mycorhizes et observables au microscope, mais pas trop pour qu'elles résistent aux différentes manipulations qui les attendent. J'ai fait le choix de prélever 12 fragments au lieu de 10. Ce qui permet de pouvoir se rabattre sur une autre racine lorsque l'une n'est pas exploitable (abîmée ou disparue pendant les manipulations ou dépourvue de cortex par exemple).

4.2. Méthode

La méthode d'observation des mycorhizes au microscope optique implique dans un premier temps une décoloration des cellules racinaires, puis une coloration des champignons qui les colonisent. Cette méthode a été établie par Philllips et Hayman en 1970 avant d'être modifiée par Vierheilig et al. en 1998.

Pour la décoloration, il faut l'effectuer dans une solution de KOH à 10% pendant vingt minutes. Cette étape permet de vider par osmose le contenu cellulaire. En effet l'eau se déplace de la solution la moins concentrée vers la plus concentrée, aboutissant à une dilution et donc une décoloration des racines. Il faut ensuite rincer les racines à l'eau acidifiée à l'HCL (Acide Chlorhydrique) puis les colorer à l'aide d'une solution de bleu de trypan à 0,05% trois minutes au bain-marie. Cette coloration est très utilisée pour l'observation d'endomycorhizes mais nécessite des modifications de protocole en fonction de l'espèce végétale étudiée. En effet, les tailles et types de racines sont très nombreux et la méthode n'est donc pas universelle.

Celle-ci a donc été adaptée pour les racines de blé en fonction des moyens du laboratoire de l'équipe BCRP par les étudiants des années précédentes travaillant sur les mycorhizes du blé.

4.3. Adaptation aux racines de blé par l'équipe BCRP

Les fragments découpés doivent avoir une longueur d'environ 1cm. Ils sont ensuite placés dans un tube à essai (un par plante), où on y ajoute quelques mililitres d'une solution de **KOH à 10%**. Les tubes passent alors **30 minutes** au bain-marie à **90°C**. On rince ensuite les racines, soit avec **3** bains successifs d'**eau distillée**, soit en vidant le tube dans une passoire à mailles fines puis en rinçant **3** fois les fragments à l'aide d'une pissette d'**eau distillée**.

Les mycorhizes sont ensuite colorées par l'ajout de quelques mililitres d'une solution avec **5 % d'encre noire** du commerce et 95 % de **vinaigre d'alcool (8%)** et en passant les tubes **1 minute** au bain-marie à **90°C**. La solution est encore éliminée à l'aide d'une passoire, sans rinçage cette fois. Pour fixer la coloration et accentuer les contrastes, les fragments racinaires sont plongés au moins **10 minutes** dans du **vinaigre d'alcool (8%)**.

Pour finir, les morceaux de racines sont placés sur une lame et montés à l'**eau distillée** pour être observés au **microscope optique (x400)**.

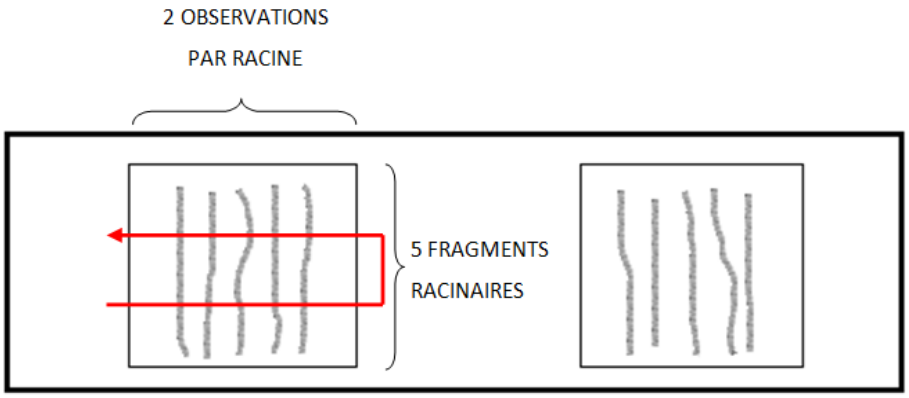


Figure 11 : Schéma d'une lame avec ses 10 fragments racinaires. Les observations sont effectuées dans le sens de la flèche rouge sur chaque lamelle

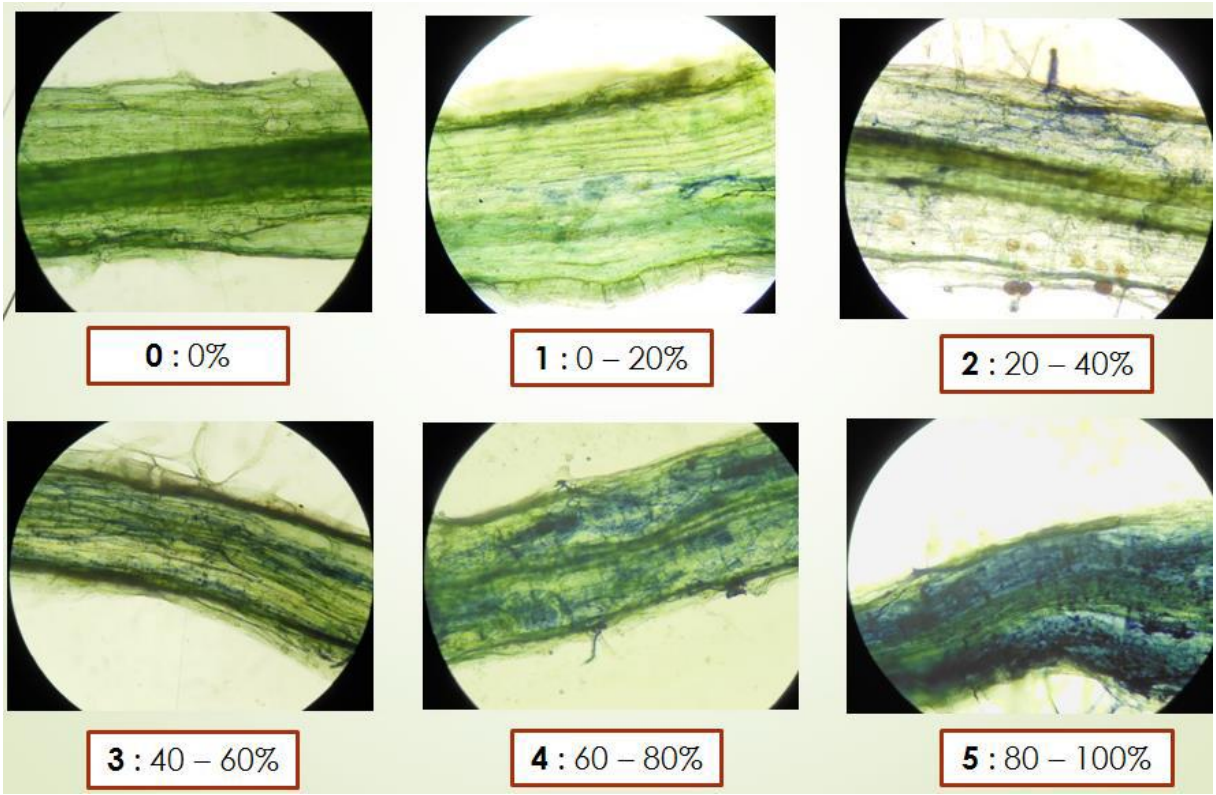


Figure 12 : Gamme étalon utilisée pour la notation de l'estimation de la colonisation mycorhizienne

4.4. Observation et quantification de la colonisation racinaire mycorhizienne

Chaque fragment est observé deux fois, suivant le schéma ci-contre, les morceaux de racines sont placés sur une lame, perpendiculairement à son axe et montés à l'**eau distillée** sous une lamelle pour être observés au **microscope optique (x400)**. La colonisation est quantifiée en suivant la méthode d'intersection agrandie décrite par *McGonigle et al., 1990*. Le taux de colonisation d'une zone observée d'une racine est noté de 0 à 5 suivant son degré de coloration d'après la gamme étalon (figure 12 ci-contre), réalisée par des stagiaires d'années précédentes.

En plus du taux global de colonisation, la présence ou non d'hyphes est évaluée, de même pour les vésicules et arbuscules. Dans chacune des cases correspondantes, 0 correspond à l'absence et 1 à la présence de l'organe en question.

Pour chaque pied, on additionne les notes des 20 observations, on obtient ainsi un nombre de 0 à 100 qui correspond au **pourcentage de colonisation racinaire par les EA**. En multipliant le nombre de présence de chaque organe par 5 puis en additionnant les 20 observations d'un système racinaire, on obtient un pourcentage de présence de chaque organe.

5. Analyses de données

Les traitements des données ont été effectués de manière informatique grâce à deux logiciels :

- *Microsoft Excel (2007)* sur lequel j'ai saisi l'ensemble des résultats des observations et dont la fonction TCD (Tableaux Croisés Dynamiques) a servi à effectuer différents tris et la réalisation de graphes représentant les données.
- *R*, logiciel libre de traitement de données et d'analyse statistique, sur lequel ont été effectués les différents tests statistiques et quelques représentations graphiques (boîtes de dispersion notamment).

Afin de comparer ce qui est comparable, les **mélanges en association** ne seront comparés qu'aux **mélanges hors association**, pour vérifier la 3e hypothèse et observer le véritable effet de l'association sur la mycorhization.

5.1. Représentations graphiques

Les barres d'erreur figurant sur les graphiques représentent l'estimation de l'écart-type de la moyenne obtenue $\sigma(\bar{X})$, aussi appelé erreur standard, ou erreur type. Cette valeur est à ne pas confondre avec l'écart-type σ(X) du caractère dans une population. Celles-ci sont liées par la formule suivante qui nous donne l'estimation de $\sigma(\bar{X})$: $\sigma(\bar{X}) = \frac{\sigma(X)}{\sqrt{n}}$ Avec n:taille de la population ou de l'échantillon étudié.

La longueur d'une barre d'erreur correspond à 2 erreurs types. Il y a une valeur $\sigma(\bar{X})$ au-dessus de la moyenne et une en-dessous. On estime que 70% des valeurs sont comprises entre $\bar{X} - \sigma(\bar{X})$ et $\bar{X} + \sigma(\bar{X})$ avec $\bar{X}$ la moyenne calculée, dans un cadre de répartition normale.

Pour les boîtes de dispersion (ou boîtes à moustaches), le trait noir correspond à la valeur médiane. La partie du rectangle située au-dessus comprend les 25% des valeurs supérieures à la médiane les plus proches de cette dernière et la partie située en-dessous les 25% inférieures. Le rectangle correspond donc à la répartition de 50% des données. Les 25% les plus hauts sont compris entre le rectangle et la borne supérieure, de même pour les valeurs les plus basses, comprises entre le rectangle et la borne inférieure. Si des valeurs sont aberrantes elles sont représentées par un point en dehors des bornes.

5.2. Tests statistiques

Le logiciel *R* permet la réalisation de tests statistiques puissants sur des grands jeux de données. Les tests réalisés pour cette étude sont les suivants :

- Test de **Shapiro** : Il sert à vérifier la **normalité de la répartition d'un jeu de données**. Si la p-value obtenue est supérieure à 0,05 on peut considérer que la répartition est normale.
- Test de **Bartlett** : Il a pour but de vérifier l'**homoscédasticité**, c'est-à-dire l'homogénéité des variances entre des échantillons. De même, lorsque la p-value obtenue dépasse 0,05 on peut considérer les variances comme homogènes
- Test **Z** : Ce test statistique ne peut être réalisé que sur un jeu de données important (**n>30**). Il permet de statuer quant à la **significativité d'une différence** observée entre deux populations en se basant sur la comparaison de moyennes.
- **ANOVA** : Analyse de la variance : Cet outil puissant ne peut être utilisé que si les deux premiers tests confirment une répartition normale des données avec des variances homogènes. Elle peut être réalisée sur **une ou plusieurs variables** et permet de juger la **significativité d'une différence observée entre trois populations ou plus**.
- Test de **Kruskal-Wallis** : En cas d'impossibilité de réaliser une ANOVA, lorsqu'au moins un des deux premiers tests est faux, on peut effectuer ce **test non-paramétrique** basé sur les **comparaisons de moyennes** pour juger de la significativité d'une ou plusieurs différences entre des populations.

Rapport-Gratuit.com

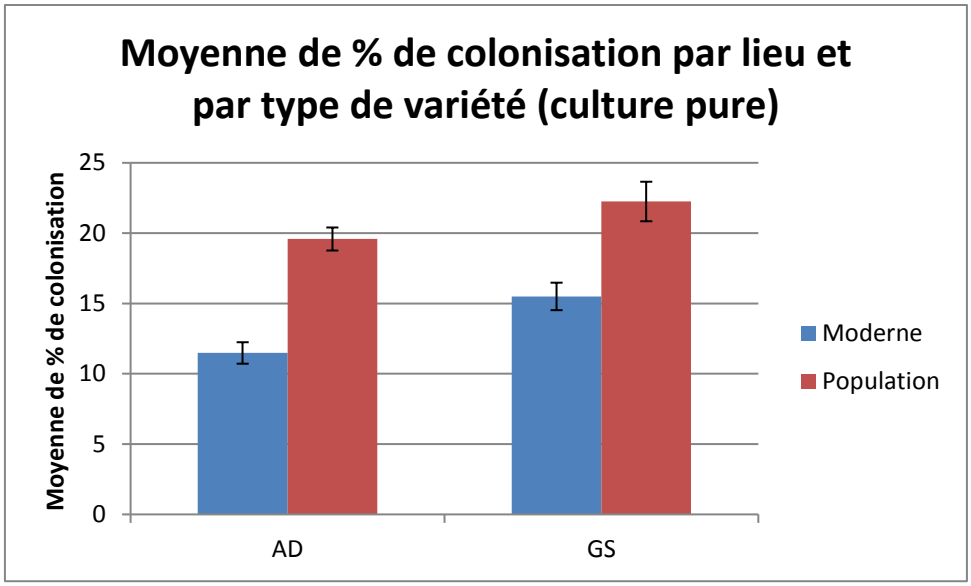


Figure 13 : représentation graphique des moyennes de colonisation par lieu et par type de variété

```
> t.test(colonisation~Type, alternative='two.sided', conf.level=.95, var.equal=FALSE, data=Dataset)

        Welch Two Sample t-test

data:  colonisation by Type
t = -6.0162, df = 84.085, p-value = 4.482e-08
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 -10.782895  -5.425438
sample estimates:
   mean in group Moderne mean in group Population
               11.47917                 19.58333
```

```
> t.test(colonisation~Type, alternative='two.sided', conf.level=.95, var.equal=FALSE, data=Dataset)

        Welch Two Sample t-test

data:  colonisation by Type
t = -3.6725, df = 75.622, p-value = 0.0004456
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 -10.410914  -3.089086
sample estimates:
   mean in group Moderne mean in group Population
                  15.50                    22.25
```

Figure 14 : Impressions d'écran des sorties du logiciel R pour le test Z au Lycée (en haut) et chez Gilles (en bas)

Résultats

Dans cette partie, nous présenterons les résultats obtenus en vérifiant les trois hypothèses annoncées en problématique. Concernant la présence des différents organes (Hyphes, Vésicules, Arbuscules), aucune conclusion ne peut être tirée des observations dont la répartition semble hasardeuse. Ces critères ne sont d'ailleurs pas nécessaires pour vérifier les hypothèses étudiées. Par soucis de clarté, seules les notes de colonisation sont donc prises en compte dans ce rapport. Il s'agit de la mesure la plus parlante et révélatrice de l'activité mycorhizienne.

1. Impact de la diversité intra-variétale

La première hypothèse à vérifier est que les variétés populations, hétérogènes génétiquement et adaptatives, mycorhizent plus que les variétés modernes, homogènes et stables.

Pour cette analyse, seules les modalités cultivées sans légumineuses sont observées, pour éviter un éventuel biais des résultats. Ici sont donc comprises uniquement les variétés cultivées en pures et les mélanges variétaux.

Dans un premier temps, la représentation graphique confirme la tendance émise dans l'hypothèse. Les moyennes de taux colonisation sont au lycée de 11,3% en modernes et de 19,2% en populations. Chez Gilles, elles valent respectivement 15,1% et 21,5%.

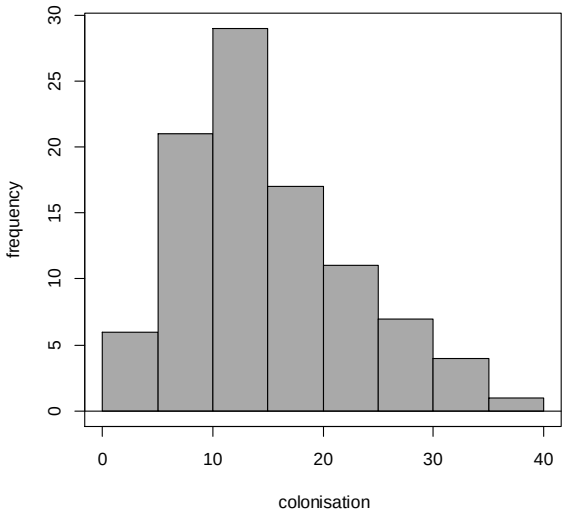
Ici sont comparés 4 échantillons différents : 2 types de variétés chez 2 agriculteurs. Pour confirmer statistiquement cette tendance, une analyse de variance (ANOVA) demande la normalité du jeu de données. Comme les données ne montraient pas une distribution normale, j'ai appliqué la fonction racine carrée aux valeurs de colonisation. Après quoi, la répartition était normale mais ne répondait pas au critère d'homoscédasticité d'après le test de Bartlett empêchant l'ANOVA.

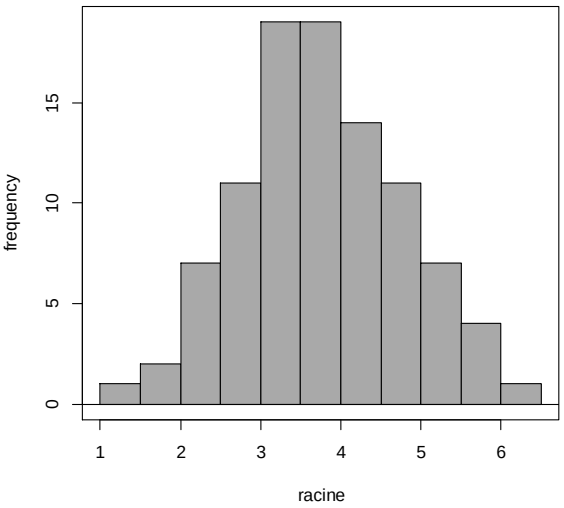
Il a donc fallu effectuer un test Z par agriculteur. Considérant 96 individus par type de variété, la condition nécessaire à l'utilisation de ce test est remplie. Il révèle un effet hautement significatif dans chacun de ces lieux (voir figure 14). On remarque cependant graphiquement que la colonisation mycorhizienne semble plus importante chez Gilles qu'au Lycée, nous vérifierons l'effet lieu après les trois hypothèses.

Avec des moyennes de colonisation allant de 11% à 22% suivant les modalités, les valeurs sont très inférieures à celles attendues qui sont de 30% à 40% pour une année normale.

Hypothèse 1 : "Les variétés populations mycorhizent plus que les variétés modernes"

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DES MÉMOIRES






```
        Shapiro-Wilk normality test

data:  colonisation
W = 0.95772, p-value = 0.003556
```

```
        Shapiro-Wilk normality test

data:  racine
W = 0.9921, p-value = 0.8463
```

Figure 16 : normalisation des données par l'application de la fonction racine carrée et vérification de la normalité au lycée

```
            Df Sum Sq Mean Sq F value   Pr(>F)
Variete      7  31.57   4.510    6.59 2.9e-06 ***
Residuals   88  60.23   0.684
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

```
Bladette    Chevalier      Mel_Mod      Mel_Pop      Pireneo        Redon
    "cd"          "a"         "ad"         "bd"        "abc"         "d"
   Renan Saint-Priest
    "ab"          "d"
```

Figure 17 : sortie du logiciel R pour l'ANOVA du lycée de la colonisation par modalité hors association. Les lettres en-dessous de chaque variété correspondent aux groupes de significativité. C'est-à-dire qu'un individu « ab » est significativement différent d'un individu « c », « d » ou « cd » mais pas d'un « bcd » par exemple.

2. Impact de la diversité inter-variétale

La deuxième hypothèse à vérifier est que les mélanges variétaux mycorhizent plus que les variétés cultivées en pures. Ici encore, on écarte les modalités en association pour comparer ce qui est comparable.

Une ANOVA ne peut être effectuée sur les résultats des deux parcelles car la répartition du jeu de données n'est pas normale, même lorsque la fonction racine carrée est appliquée aux valeurs de colonisation. Il faut donc se rabattre sur le test non-paramétrique de Kruskal-Wallis. L'intérêt est que les échantillons ne doivent pas forcément avoir le même effectif. Il est alors possible de regrouper les modalités en culture pure par type :

Figure 15 : Evolution de la répartition des résultats en reclassant suivant les critères "mélange" et "type de variété"

Même classées ainsi, les données ne montrent aucun effet significatif des mélanges variétaux sur la colonisation par les mycorhizes. La seule différence significative se situe entre le mélange de variétés populations et les variétés commerciales cultivées en pure, qui trouve probablement son explication dans l'hypothèse 1.

Il faut donc observer séparément les résultats et voir si les tendances sont les mêmes dans les deux lieux.

Au lycée la répartition des données permet d'effectuer une ANOVA, après application de la fonction racine carrée (voir figure 15) mais celle-ci ne révèle aucun effet significatif du mélange variétal (voir ci-contre, figure 16), la tendance est même à la baisse de mycorhization en variétés populations.

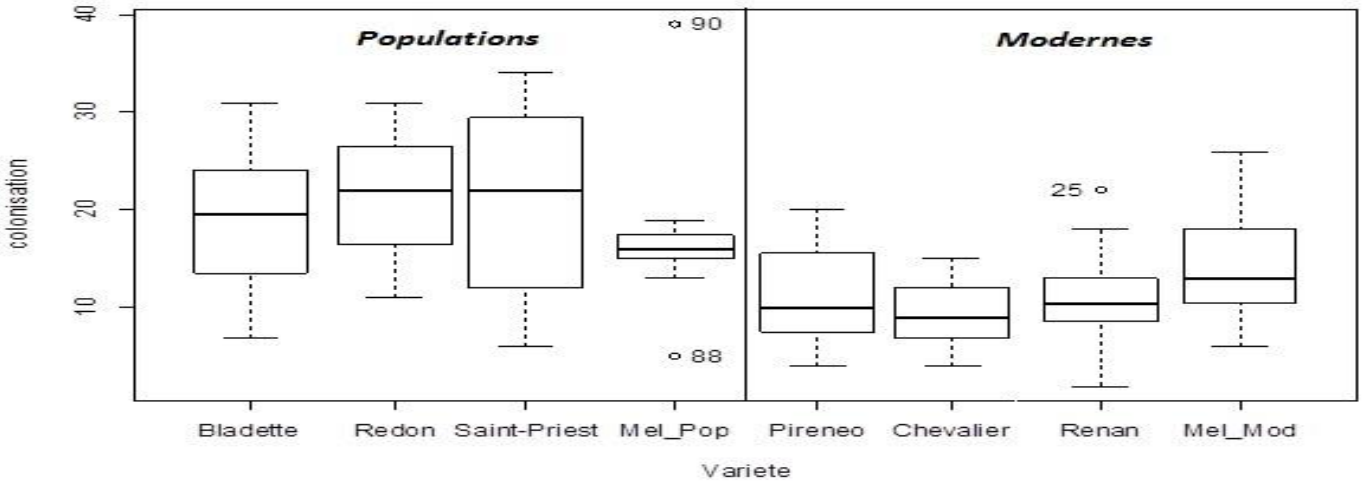


Figure 18 : Boîtes de dispersion indiquant la répartition des moyennes de colonisation par variété hors association au Lycée

Chez Gilles, la répartition des données ne permet pas d'effectuer d'ANOVA, et le Kruskal-Wallis révèle un effet significatif uniquement pour les variétés populations. Voir ci-dessous : sortie R du test :

```
data:  colonisation by Variete
Kruskal-Wallis chi-squared = 23.694, df = 3, p-value = 2.893e-05


> kruskalmc(colonisation ~ Variete, data=Dataset)
Multiple comparison test after Kruskal-Wallis
p.value: 0.05
Comparisons
                     obs.dif critical.dif difference
Mel_Mod-Mel_Pop   24.0000000     30.00353      FALSE
Mel_Mod-Pure-mod  19.3194444     24.49778      FALSE
Mel_Mod-pure-pop   0.9027778     24.49778      FALSE
Mel_Pop-Pure-mod  43.3194444     24.49778       TRUE
Mel_Pop-pure-pop  24.9027778     24.49778       TRUE
Pure-mod-pure-pop 18.4166667     17.32255       TRUE
```

Figure 19 : sortie sur le logiciel R du test de Kruskal-Wallis chez Gilles

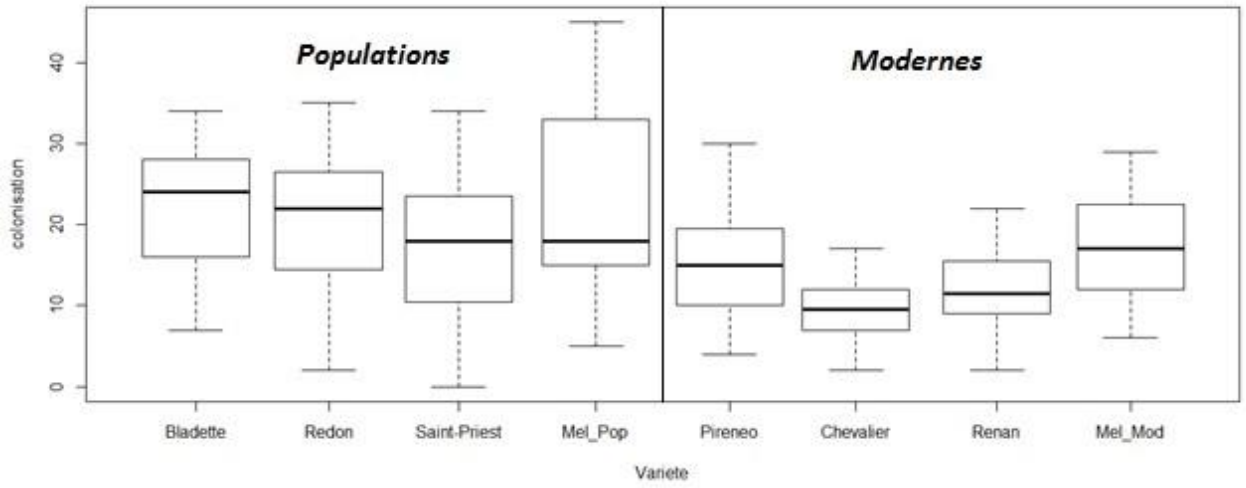


Figure 20 Boîtes de dispersion indiquant la répartition des moyennes de colonisation par variété hors association chez Gilles

Les deux figures ci-dessus indiquent la dispersion des moyennes de colonisation dans les deux lieux. On constate que les résultats sont presque tous similaires dans l'ensemble des modalités excepté en mélange population où la dispersion est très différente.

Les résultats ne sont donc pas significatifs et vont même à l'encontre de l'hypothèse énoncée pour les variétés population. Aucune signifivativité ne peut être démontrée, l'hypothèse ne peut donc qu'être rejetée.

Hypothèse 2 : "Les mélanges variétaux mycorhizent plus que les variétés cultivées en pure"

On note cependant que les tendances observables par les boîtes à moustaches laissent apparaître

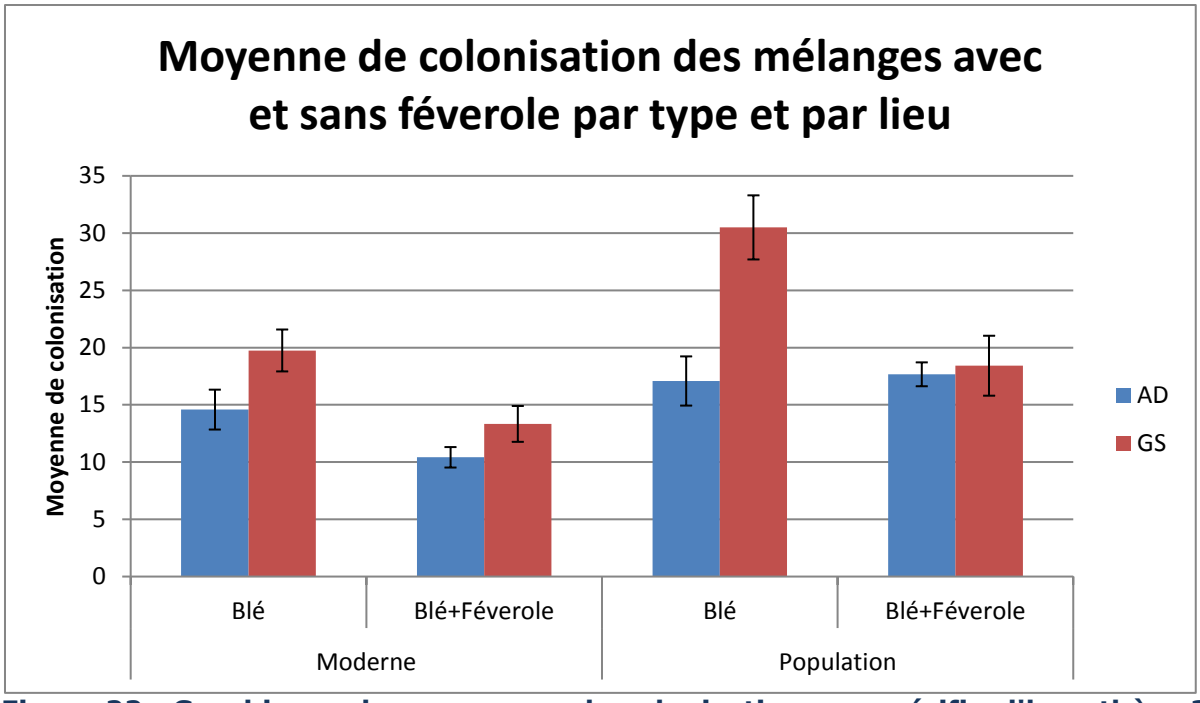


Figure 22 : Graphiques des moyennes de colonisation pour vérifier l'hypothèse 3

un meilleur taux de colonisation du mélange de variétés modernes comparés aux variétés pures, et pour les variétés populations, le mélange montre une plus grande dispersion avec des maxima jamais atteints par les populations pures.

3. Impact de la diversité inter-spécifique

Pour cette 3e hypothèse, seules les modalités en mélange sont étudiées. D'un côté celles ne comprenant que du blé, de l'autre celles où la céréale est cultivée en association avec la féverole.

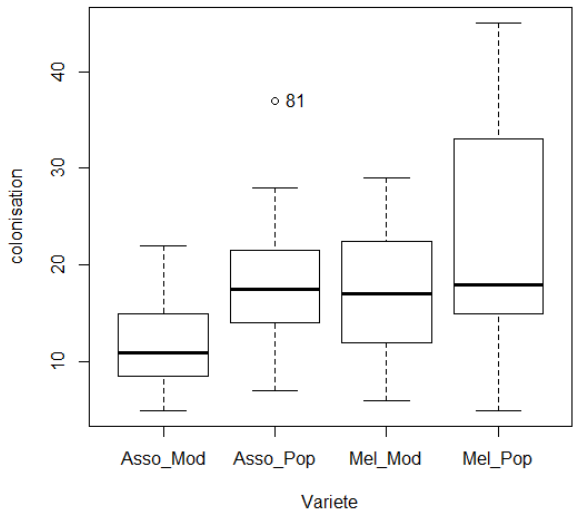


Figure 21 : Boîtes de dispersion des moyennes de colonisation des mélanges avec et sans association

L'étendue de la répartition des données laisse vite penser qu'il sera difficile de tirer un résultat significatif de cette expérience. L'hypothèse d'un impact favorable de l'association peut même être vite écartée puisque les valeurs sont inférieures dans les modalités associées aux modalités non-associées.

La non-normalité du jeu de donnée, y compris en lui appliquant la fonction racine carrée, ne permet pas de réaliser une ANOVA. Le test de Kruskal-Wallis révèle qu'il n'y a pas de différence significative entre les modalités.

Les données obtenues sont donc séparées selon les lieux, et chacun des jeux de données vérifie les conditions de normalité et d'homoscédasticité nécessaires à l'application d'ANOVA. Les résultats vont tout à fait à l'encontre de l'hypothèse formulée, comme le montre les graphes (figures 21 et 22).

Les mélanges mycorhizent même significativement plus hors association qu'en présence de féverole chez Gilles. Au lycée, c'est le cas pour les variétés modernes mais pas pour les variétés populations.

Hypothèse 3 :"Les mélanges associés à une légumineuse mycorhizent plus que les mélanges variétaux non-associés" :

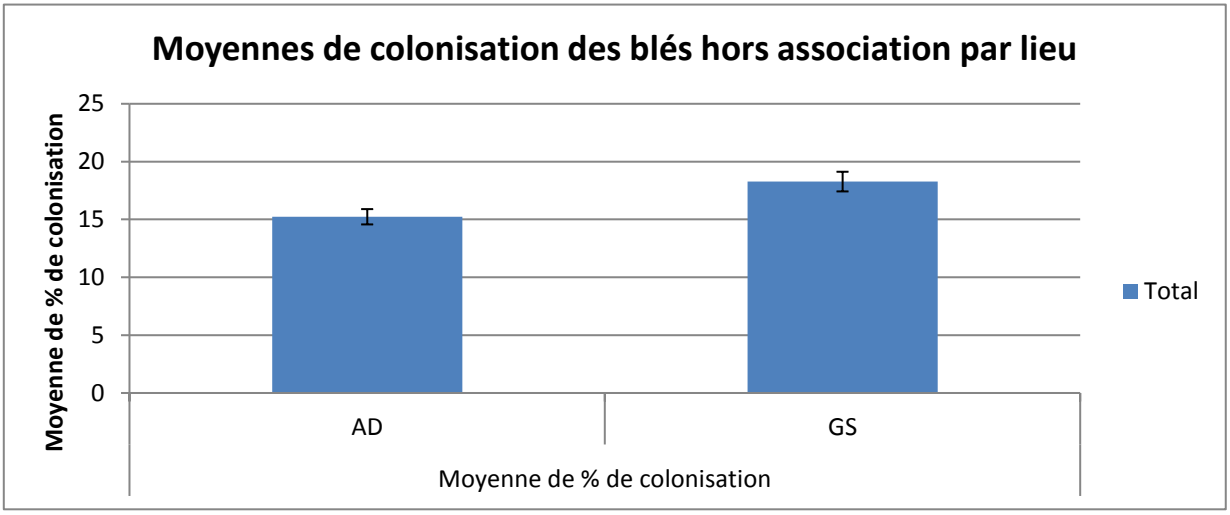


Figure 23 : Moyennes de colonisation des blés hors association par lieu

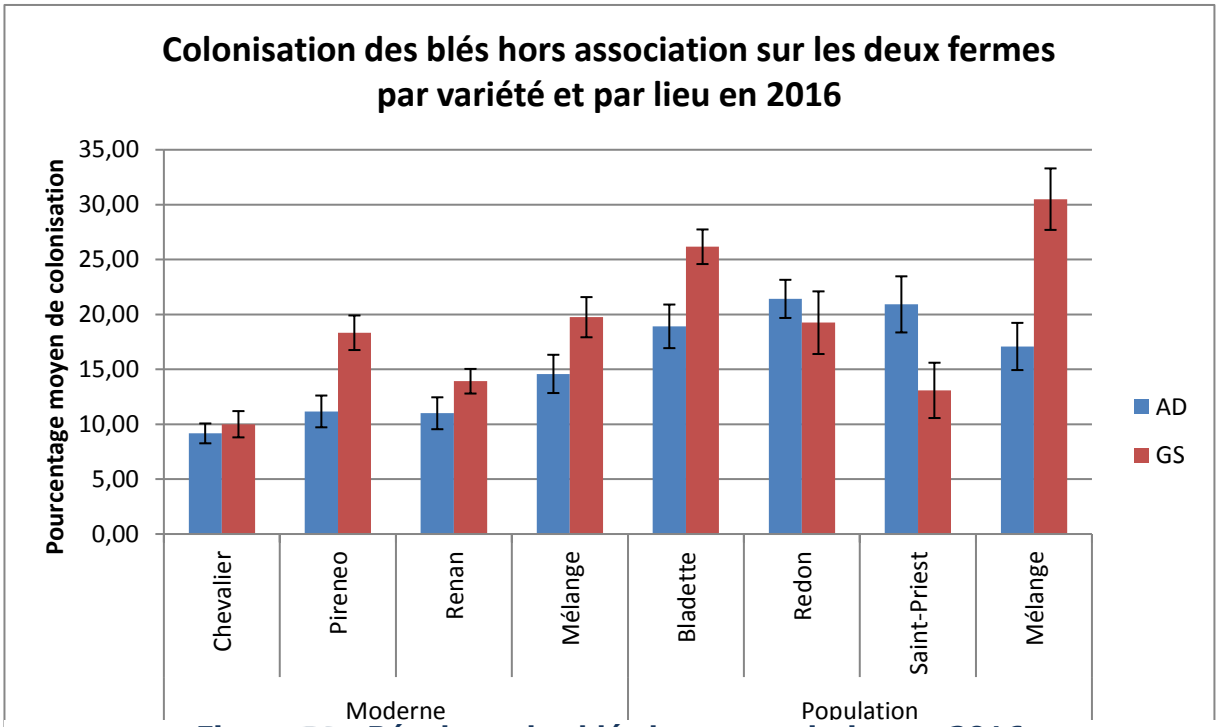


Figure 24 : Résultats des blés hors association en 2016

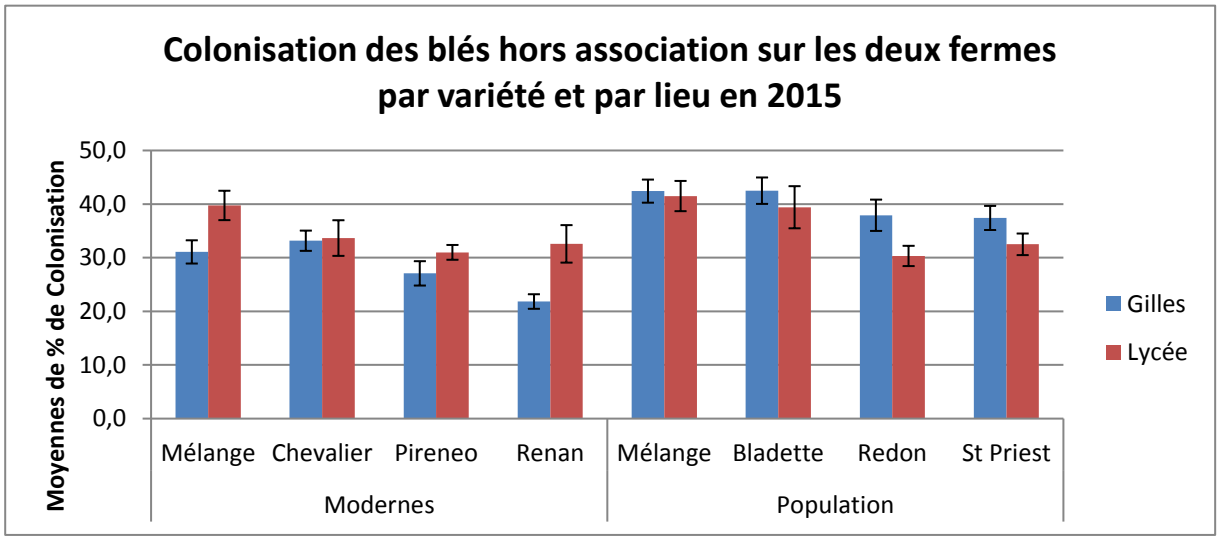


Figure 25 : Résultats des blés hors association en 2015

4. Impact du lieu

Les différences de résultats observées entre la parcelle du lycée et celle des Petits Chapelais semblent révéler un effet du lieu de culture sur la mycorhization (figure 23 ci-contre).

Il n'y a ici que deux groupes à étudier. Avec 192 individus par lieu (encore une fois les associations sont écartées), on peut effectuer un test Z.

Ce test révèle un degré de colonisation significativement plus élevé dans la parcelle des Petits Chapelais que dans celle du lycée.

Hypothèse : "Le lieu de culture impacte la mycorhization"

5. Effet année

Un des faits les plus remarquables concernant les résultats de cette année est la faiblesse des valeurs de colonisations. En effet, une année normale la colonisation par les mycorhizes moyennes des plantes de blé est de 30 à 40%. Cette fourchette de valeurs a été vérifiée sur ce projet en 2014 et par les résultats des deux dernières années d'expérimentation du projet Blégu Poitou, un autre projet impliquant l'équipe BCRP où des stagiaires observent la colonisation mycorhizienne du blé.

Or, en 2016, les moyennes de colonisation sont nettement plus basses, et la différence de distingue nettement sur les graphiques (figures 24 et 25). Un test Z a logiquement confirmant l'importante significativité des différences observées. Pensant d'abord que cela viendrait d'erreurs dans les manipulations ou observations, j'ai comparé mes résultats avec ceux des deux stagiaires travaillant cette année sur le projet Blégu Poitou. La tendance est exactement la même que pour les observations que j'ai réalisées dans le cadre du projet SAFARI : des valeurs de colonisation mycorhizienne jusqu'à deux fois inférieures aux années précédentes.

Hypothèse : "Il y a un effet de l'année sur la mycorhization"

Rapport-Gratuit.com

Discussion

1. Pertinence du protocole

1.1. 2016

Le protocole présente des conditions optimales et rares dans un cadre de recherche participative : les modalités sont exactement les mêmes dans les deux fermes. L'expérience se déroule comme prévu avec l'utilisation avec l'utilisation de l'année n-1 pour la mise en place des essais de l'année n. La proximité géographique des fermes offre des conditions climatiques semblables.

En fait, ce type de dispositif à la ferme, avec des schémas d'implantation similaires à ceux des stations expérimentales, est proposé pour répondre à une question précise du groupe, en termes de stratégie et de connaissances nécessaires pour affiner la démarche de sélection dans chaque ferme.

Un des seuls points regrettables est la taille des échantillons. Le nombre d'observations de racines (4800) est conséquent, mais ne correspond qu'à 240 systèmes racinaires. Le nombre de 4 individus par bande de répétition parait faible pour représenter l'ensemble de la bande.

En outre, l'effet de la légumineuse varie très probablement en fonction des densités de semis. Un mélange ne se comporte en effet pas de la même manière selon les proportions qui le composent. Il aurait donc été intéressant d'avoir un plus grand nombre de modalités avec un gradient de densité de semis de la légumineuse.

De même pour les mélanges variétaux, des gradients de diversité auraient été un sujet d'étude intéressant (mélanges à 2,3,4 et 5 variétés par exemple) qui aurait permis de renforcer les conclusions issues des analyses der ésultats.

Pour un nombre plus conséquent et représentatif par modalité, ou un plus grand nombre de modalités, il faudrait cependant plus d'un stagiaire par année sur le sujet étant donné que j'ai passé 8 semaines en laboratoire pour effectuer mes observations.

Un bémol peut aussi être mis sur la précision de la quantificatin. En effet, sur chaque observation il faut mettre une note de 0 à 5. Les racines n'étant pas toutes identiques, la configuration ne se rapproche pas forcément de celles que l'on observe sur la gamme étalon. La note attribuée manque ainsi de précision et peut varier d'un observateur à l'autre.

On peut également regretter la grande similarité entre deux variétés populations : Redon et Saint-Priest. Malgré des origines géographiques normalement différentes, ces deux variétés sont quasiment indifférenciables visuellement. Les valeurs de mycorhization observées ne sont d'ailleurs pas significativement différentes, ces variétés sont probablement très proche sur le plan génétique. Des analyses génétiques sont d'ailleurs en cours pour déterminer le degré de proximité de leurs génomes.

Enfin, il aurait été intéressant de comparer ces résultats avec un dispositif similaire cultivé en agriculture conventionnelle, pour observer l'importance des pratique culturales sur la mycorhization.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DES MÉMOIRES

1.2. Evolution du dispositif

Les hypothèses majeures du projet SAFARI à vérifier sont qu'une augmentation de la diversité intra-spécifique (dans le blé) et de la diversité inter-spécifique (associations d'espèces différentes) augmentent la stabilité du rendement, la rusticité des plantes, et donc sont susceptibles d'influencer les caractéristiques technologiques et les critères de qualité du blé. Le projet a vocation à tester si une variété de blé cultivée avec une légumineuse pendant plusieurs années maximisera les avantages de l'association.

Ainsi, pour les prochains semis, les derniers du projet, des modalités seront ajoutés : les mélanges cultivés pendant 4 ans hors association seront semés avec et sans légumineuses. De même pour les mélanges cultivés en association pendant le projet. Enfin, les mélanges initiaux, semés en 2013 seront semés pour être comparés avec ceux qui ont normalement évolué pour observer ces éventuelles évolutions.

L'objectif du projet est de voir si ces générations successives ont suffit à modifier significativement les capacités d'interactions des racines avec le sol via les mycorhizes. L'équipe devra s'organiser pour optimiser son organisation pour mener à bien les nombreuses observations.

2. Des hypothèses aux résultats

2.1. Impact de la diversité génétique

Au vu des différents résultats et analyses de cette année, la diversité génétique d'une parcelle ne semble pas être un facteur déterminant de la mycorhization du blé tendre. La seule hypothèse validée sur les trois énoncées en problématique peut l'être pour une autre raison. Il est ainsi probable que l'histoire d'une variété, les différents processus de sélection qu'elle a traversés explique les plus grandes capacités à mycorhizer des variétés populations.

2.1.1. Diversité intra-variétale

En effet ces variétés ont été sélectionnées au cours de longs processus sur des générations successives, généralement depuis des siècles, bien avant l'apparition d'intrants de synthèse. En revanche, les variétés modernes ont été sélectionnées de manière accélérée, dans des conditions néfastes à la mycorhization (fertilisation, produits phytosanitaires, labour). La sélection dans ces conditions n'est probablement pas propice à la transmission de gènes d'intérêts de la symbiose mycorhizienne et expliquerait la perte de capacité à effectuer cette symbiose pour les variétés modernes. Cela a d'ailleurs été prouvé en 2001 par une équipe australienne (*Zhu et al., 2001*). L'application de cette découverte peut se révéler très intéressante dans les sols pauvres en Phosphore.

Il se trouve que le Phosphore est l'élément le plus intrinsèquement lié à la mycorhization car il est hautement nécessaire aux plantes et peu ou pas mobile dans le sol. Ainsi, dans les sols pauvres en Phosphore, les rendements sont meilleurs pour les variétés populations que pour les variétés modernes (*Wissuwa et al., 2009*). En rappelant la pénurie annoncée de Phosphore minier dans les décennies à venir, on comprend que les

CC BY NC ND

variétés populations n'appartiennent pas au passé, mais constituent au contraire une des solutions d'avenir pour l'agriculture. En outre, les EA entretiennent un grand nombre d'interactions avec la flore bactérienne de la rhizosphère et ces interactions sont bénéfiques pour les EA, pour les plantes mais aussi pour la vie du sol et de l'agro-écosystème (*Miransari, 2010*).

2.1.2. Diversité inter-variétale

Si les différents niveaux de diversité ne montrent pas d'effet sur la mycorhization du blé tendre, le projet SAFARI met cependant en avant d'autres intérêts agronomiques de cette diversité (tolérance aux maladies, résistance aux adventices, rendements supérieurs aux moyennes des variétés calculées etc...)

Bien qu'il ne modifie pas l'activité symbiotique des variétés populations, ce niveau de diversité semble entraîner une tendance à l'augmentation de la mycorhization des variétés modernes dans chacune des deux fermes. Les variétés modernes n'ayant presque aucune diversité génétique en variété pure, on peut supposer qu'une diversité minimale est tout de même délétère au développement mycorhizien. En revanche, les variétés populations, même cultivées en pures, présentent une certaine diversité, au moins identique à celle d'un mélange de 3 variétés modernes.

Avec un plus grand nombre de modalités et un gradient de nombre de variétés dans les mélanges, on pourrait s'interroger sur l'incidence du nombre de variétés composant le mélange sur la mycorhization des blés modernes.

2.1.3. Diversité inter-spécifique

En ce qui concerne les mélanges associés à la féverole, on remarque que la densité de semis de la féverole est très faible (8,3 et 6,2 grains/m²). Dans ces conditions, la concurrence avec la féverole est faible. Néanmoins, la présence de cette féverole limite la levée du blé et le nombre de brins de blé par unité de surface diminue. Le contexte nutritif est donc moins directement concurrentiel pour une plante de blé qui a alors moins besoin des mycorhizes pour puiser des éléments, en proportion plus nombreux pour chaque individu. Les blés excréteraient donc plus d'acide jasmonique pour limiter la colonisation et éviter que les champignons ne deviennent parasites pour les plantes.

Les stagiaires travaillant sur le projet Blégu Poitou ont d'ailleurs constaté dans plusieurs modalités une augmentation de la mycorhization en association lorsque la densité de semis de la légumineuse augmente. Ce qui confirme le lien étroit entre la disponibilité d'éléments par plante et l'activité symbiotique mycorhizienne.

Dans ce contexte de faible concurrence on peut aussi supposer que les légumineuses, véritables experts végétaux des symbioses, entretiennent une importante activité symbiotique avec des bactéries dans l'environnement proche des racines, qui permet une dissolution et une meilleure mobilité des éléments chimiques. Là encore, la disponibilité des éléments serait meilleure et les plantes de blé auraient moins besoin des mycorhizes pour se nourrir.

CC BY NC ND

2.2. Effet lieu

Constatant au cours de l'étude une différence de colonisation du blé par les mycorhizes entre la parcelle gérée par André Despinas et celle gérée par Gilles Simonneaux, j'ai vérifié qu'il y avait bien une différence significative entre ces deux sols. En effet la mycorhization est supérieure dans la parcelle des Petits Chapelais que dans celle du LEGTA. Pourtant, lorsque l'on observe les analyses de terre (Annexe), les teneurs en Phosphore plus élevée chez Gilles laissent supposer que la mycorhization y sera moins importante qu'au lycée. De plus, les autres valeurs caractéristiques du sol sont proches et le climat est quasiment identique. On peut supposer ici que c'est l'historique de la parcelle qui a prévalu. La parcelle des Petits Chapelais est en AB depuis 18 ans, tandis que celle du LEGTA ne l'est que depuis 4 ans, et a donc un passé récent plus lié aux produits phytosanitaires, préjudiciables à la vie microbienne du sol (*Verbruggen et al., 2010)*. En outre, Gilles ne laboure qu'une fois par rotation, pour casser une prairie, tandis qu'André laboure entre chaque culture, ce qui ne favorise pas la mycorhization.

On voit donc un effet important des pratiques culturales sur la mycorhization.

2.3. Effet année

L'effet année est le plus important de tous ceux que l'on observe dans cette étude. Les fermes effectuant des rotations, les parcelles ne sont pas les mêmes que l'année dernière. Cette différence serait-elle due au choix des parcelles ? C'est improbable : les stagiaires sur le projet Blégu-Poitou (ITAB-BCRP) ont également constaté des résultats systématiquement plus faibles en 2016 qu'en 2015. Le seul facteur qui a changé en Ille-et-Vilaine comme dans le Poitou est le climat.

En effet, la campagne 2015-2016 a été marquée par un hiver qui sort de l'ordinaire. Celui-ci s'est révélé très doux et humide. La douceur a été telle que la barre du 0°C n'a été franchie que deux fois dans la région, il n'y a donc quasiment pas eu de gel. Dans ces conditions, l'activité microbienne du sol n'a pas du connaître d'arrêt hivernal comme une année normale, ou sur un laps de temps beaucoup plus court. La minéralisation de l'humus par les bactéries a donc dû être beaucoup plus importante qu'un hiver normal et les éléments constitutifs du vivants étaient dont largement plus disponibles que d'habitude. Il en résulte encore une fois une nécessité moindre des mycorhizes pour aider les plantes à se nourrir.

Enfin, l'humidité importante de cet hiver a pu maintenir une certaine hydromorphie dans certains sols, limitant le développement des champignons mycorhiziens.

Conclusion

1. Bilan de l'étude

Cette étude inscrite dans le projet SAFARI : SAnté Fertilité Adaptation RésIlience, avait pour but d'observer l'impact de différents niveaux de diversité génétiques sur la mycorhization. L'hypothèse de base est la suivante: la baisse de diversité d'une parcelle de céréale entraîne une baisse des interactions entre les champignons du sol et la plante. Il en a découlé trois hypothèses à vérifier par l'étude. Une seule d'entre elle a été vérifiée cette année et on n'attribue pas forcément ce résultat à la diversité génétique mais plutôt aux historiques des variétés.

On a cependant constaté que les modalités ne présentant aucune diversité génétique (les cultures pures de variétés modernes non-mélangées) sont celles qui présentent les plus faibles taux de mycorhization. L'importance de la diversité n'aurait donc pas d'impact sur cette activité symbiotique, mais son absence est corrélée à une faiblesse de cette activité.

Cette absence de diversité n'est cependant pas forcément la cause de ces taux de mycorhization bas. On ne peut affirmer la présence d'une relation de causalité entre ces caractéristiques.

Le principal constat de cette étude est la faiblesse des interactions entre les variétés standardisées et leur environnement comparé aux variétés adaptatives et évolutives résultant de siècles de sélection paysanne. L'étude prouve également que le lieu de culture et son historique exercent une influence sur le niveau de ces interactions, de même que le climat.

2. Bilan personnel

Cette expérience m'a beaucoup apporté dans plusieurs domaines.

Tout d'abord il m'a offert la possibilité de faire de superbes rencontres que je n'oublierai pas. Cela a été un plaisir de travailler au sein de l'équipe BCRP, où règne une ambiance de travail des plus agréables. Tous les membres de l'équipe sont très ouverts et sympathiques et cette immersion dans le monde professionnel ne se serait pas si bien déroulée sans chacun d'entre eux.

Au travers de journées telles que le séminaire de l'*Université du Vivant*, la visite des parcelles de développement de nouvelles variétés destinées à l'AB, la journée autour des blés paysans du GABB Anjou ou l'organisation de la fête *Du champ à l'assiette*, j'ai pu rencontrer de nombreux acteurs de l'AB. Tant des acteurs historiques du mouvement de « la bio » que des nouveaux arrivés, des personnes impliquées dans le développement de la filière au niveau national, régional ou sur le bassin rennais etc… Ces journées m'ont apporté énormément, tant du point de vue technique qu'humain.

Cette expérience dans le domaine de la recherche agronomique m'a appris la rigueur d'une expérimentation scientifique qui se joue parfois sur des détails comme la numérotation des sachets d'échantillons ou la

Rapport-Gratuit.com

nomenclature des colonnes d'un tableur. Quelques efforts de réflexion préalables peuvent en effet faire gagner un temps fou dans la collecte ou l'analyse de données.

J'en ai aussi beaucoup appris sur l'AB, que je pensais pourtant déjà bien connaître, étant fils d'agriculteur bio. Cette filière m'attire depuis que j'ai décidé de m'orienter vers l'agronomie et ce stage confirme mon souhait d'y travailler à l'avenir. La filière des semences paysannes, étroitement liée à l'AB m'a également grandement intéressé, d'autant que nous n'avions que très peu entendu de ce type de semence lors de la formation à l'IUT.

Techniquement, ce stage m'en a aussi appris énormément sur les analyses statistiques de données. Notamment avec le logiciel *R* spécialement dédié à ces traitements. Par exemple, au début du stage, j'ai voulu analysé les résultats des années précédentes du projet SAFARI : l'idée était de mettre en évidence que l'importance de la colonisation mycorhizienne pouvait impacter de nombreux paramètres comme le rendement qualitatif et quantitatif ou la résistance aux maladies. Au vu du nombre important de paramètres étudiés (>50) il fallait effectuer une ACP (=Analyse en Composante Principale). Cet outil statistique puissant m'était totalement inconnu et il pourrait se révéler très utile dans ma poursuite d'études en école d'ingénieur. Il était malheureusement difficile de prouver quoi que ce soit. D'une part, le nombre d'échantillons vraiment comparables est faible puisqu'il faut pour cela comparer au sein d'une même modalité, d'autre part, les corrélations n'indiquent pas la relation de cause à effet qu'il peut y avoir entre deux caractères.

Ce stage a enfin été pour moi marqué par l'autonomie et la confiance qu'on m'accordait. Cela m'a permis de mener mes propres « investigations » tant en recherche bibliographique que sur les protocoles utilisés ou les analyses de données. Cette autonomie et cette confiance m'ont responsabilisé et motivé à effectuer mon travail de la plus sérieuse des manières et je n'étais pas pour autant laissé seul au monde, au moindre problème je trouvais quelqu'un pour répondre à mes questions.

Le bilan est très positif de mon côté, j'ai beaucoup appris et passé 4 mois très agréables au Rheu, au sein de l'équipe BCRP que je ne remercierai jamais assez.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DES MÉMOIRES

Références Bibliographiques

1. Articles et ouvrages

ANDRE FORTIN J., PLENCHETTE C., PICHE Y ., 2015, *Les mycorhizes l'essor de la nouvelle révolution verte*, Ed Quae, Versailles, 251pp. Collection Synthèses, 978-2-7592-1963-6.

GARBAYE J., 2013, *La symbiose mycorhizienne : une association entre les plantes et les champignons*, Quae, Versailles.

JM Trappe, R Molina, M Castellano, 1984, *Reactions of Mycorrhizal Fungi and Mycorrhiza Formation to Pesticides*. Annual Review of Phytopathology. Vol. 22: 331-359 (Volume publication date September 1984). DOI: 10.1146/annurev.py.22.090184.001555

Erik Verbruggen, Wilfred F. M. Ro ¨ling, Hannes A. Gamper, George A. Kowalchuk, Herman A. Verhoef1 and Marcel G. A. van der Heijden, 2010 *Positive effects of organic farming on below-ground mutualists: large-scale comparison of mycorrhizal fungal communities in agricultural soil*. Phytologist 186 (4):968–979

BRUSSARD L., DE RUITER P.C., BROWN G.G., 2007, Soil biodiversity for agricultural sustainability, *Agriculture, ecosytems & environment,* n°121, pp 233-244.

CABON M. (2014*). Evaluation du taux de mycorhizes sur le blé en conditions d'association avec une légumineuse : mise au point d'un protocole de quantification et premiers résultats.*

CALAME M., 2007, *Érosion de la biodiversité domestique*, Vision européenne, septembre 2007 : http://www.china-europa-forum.net/bdfdoc-842_fr.html

DEMEULENAERE E., GOLDRINGER I., ZAHIARA H., MERCIER F., BONNEUIL C., RONOT B., BERTRAND J., CHESNAU V., CHABLE V., TESTARD D., SUPIOT N., DALMASSO C., PEREAU G., KASTLER G., KOENIG J., 2008, Les blés anciens et paysans : de l'origine à aujourd'hui, *Voyage autour des blés paysans*, Ed Réseau semences paysannes, pp 22-46.

GIOVANETTI M., 2008, Structure, Extent and Functional Significiance of Belowground Arbuscular Mycorrhizal Networks. *In* PDA Varma, ed, *Mycorrhiza*, Springer Berlin Heidelnerg, pp 59-72.

GOBAT J.M., ARAGNO M., MATTHEY W., 2010, Les symbioses mutualistes du sol, Le sol vivant : bases de pédologie, biologie des sols, Lausanne, pp 670-709.

GOSLING P., HODGE A., GOODLASS G., BENDING G.D., 2006, Arbuscular mycorrhizal fungi and organic farming, Agriculture, *Ecosystems and Environment,* 113, pp 17–35

FAO, 1996, *Rapport sur l'état des ressources phytogénétiques dans le monde*, Leipzig, Allemagne.

KARANDASHOV V., BUCHER M., 2005, Symbiotic phosphate transport in arbuscular mycorrhizas. *Trends in plant science n°10*, pp 22-29.

KELLEY W.D., 1982, Effect of triadimefon on ectomycorrhizae of loblolly and slash pines in Alabam. *Forest Science, vol. 28, n°2*, pp 232-236.

LERET A. (2014). *Étude de la mycorhization de différentes variétés populations de blé au sein d'un groupe de recherche participative.*

MCGONIGLE T.P., MILLER M.H., EVANS D.G., FAIRCHILD G.L., SWAN J.A. (1990). A new method which gives an objective measure of colonization of roots by vesicular—arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytologist*, 115, pp. 495–501

OELH F., JANSA J., INEICHEN K., MÄDER P., VAN DER HEJDEN M., 2011, Champignons mycorhiziens arbusculaires, bioindicateurs dans les sols agricoles suisses, *Recherche agronomique Suisse*, pp 304-310.

PERRISSIN-FABERT D., 2015, *Cours Itinéraires technique d'une culture: le blé.* IUT d'Angers.

PERCHEPIED L., 2016, *Cours Sélection semences et Sortie Geves.* IUT d'Angers.

PHILLIPS J.M., HAYMAN D.S., 1970, Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycological Society*, pp 158-161.

VIERHEILIG, H., COUGHLAN, A.P., WYSS, U., PICHÉ, Y. (1998). Ink and Vinegar, a Simple Staining Technique for Arbuscular-Mycorrhizal Fungi. *Applied and Environmental Microbiology*, 64 (12), pp. 5004–5007.

BRAC DE LA PERRIERE R.A., 2014, Semences paysannes, Plantes de demain, Ed Charles Leopold Mayer.

2. Webographie

AGRO PERSPECTIVES, dossier pdf : Les mycorhizes : des champignons prometteurs pour l'agriculture ! www.agroperspectives.fr

Site web diversifood : http://www.diversifood.eu

Site Geves :

http://www.geves.fr/index.php?option=com_content&view=article&id=46&Itemid=283&lang=fr

Site web Gnis : http://www.gnis-pedagogie.org/biotechnologie-amelioration-histoire-selection.html

Site web Inra : http://www.inra.fr

Site web Itab : http://www.itab.asso.fr/

Site web Réseau semences paysannes : http://www.semencespaysannes.org/

Site web Solibam : http://www.solibam.eu

Table des annexes :

Annexe 1 : Composition et organigramme de l'équipe BCRP 1

Annexe 2 : Organigramme de l'unité SAD-Paysage 1

Annexe 3 : Analyse de Terre de la parcelle du Lycée 2

Annexe 4 : Analyse de Terre de la parcelle des Petits Chapelais 6

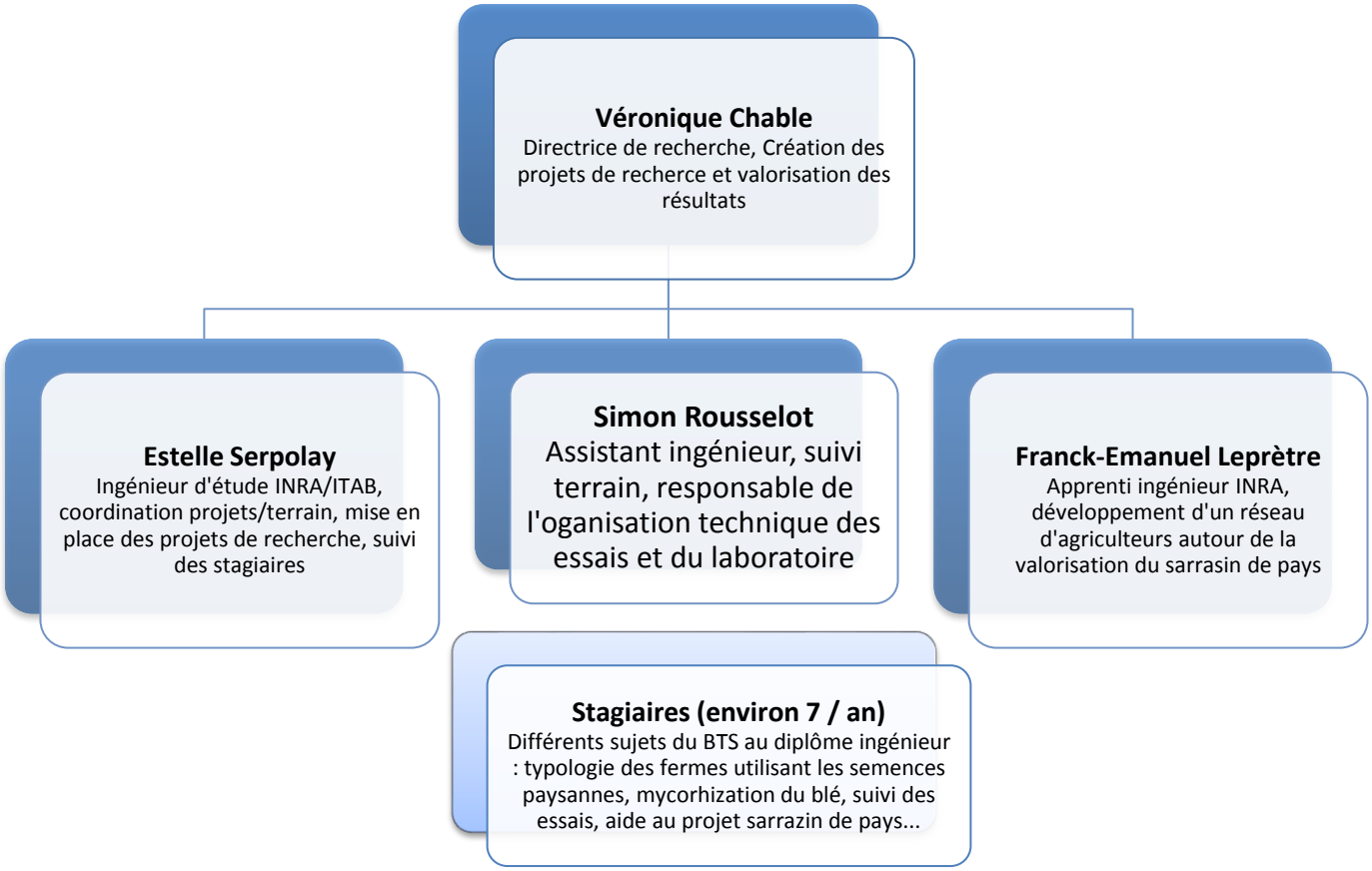
Annexe 5 : Evaluation *Arvalis* des blés modernes utilisés.....10

Annexe 6 : Caractéristiques des blés populations utilisés.....13

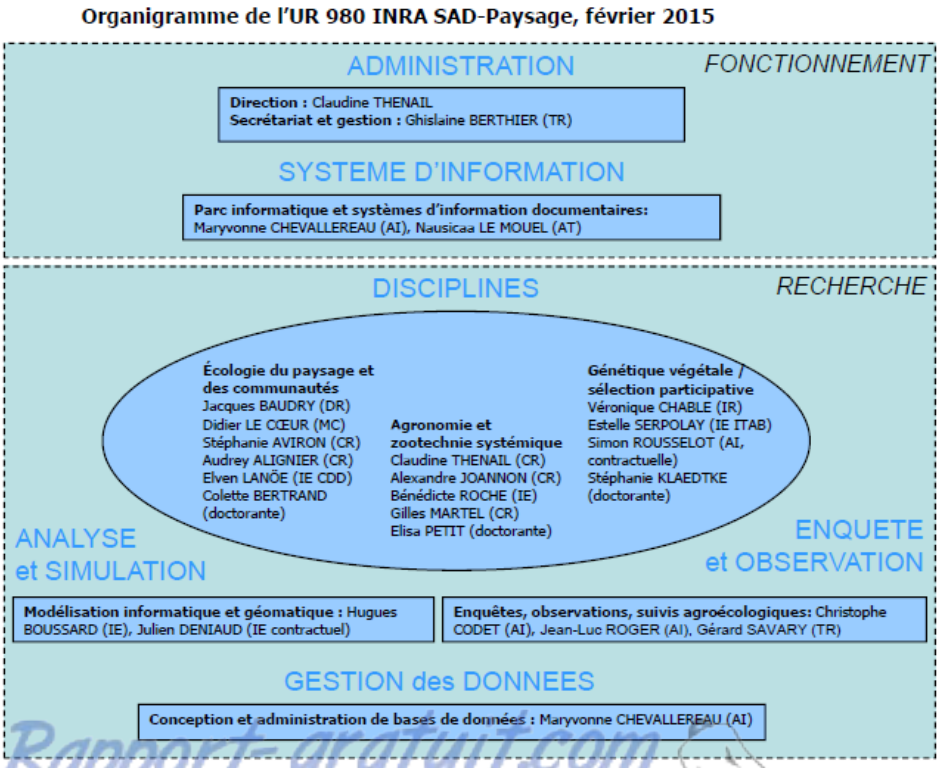
Annexe 7 : Fiche d'évaluation remplie au cours des observations.....14

Rapport-Gratuit.com

Annexe 1 : Composition et organigramme de l'équipe Biodiversité Cultivée et Recherche Participative



Annexe 2 : Composition et organigramme de l'unité SAD-Paysage (février 2015)



Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DES MÉMOIRES

Annexe 3 : Analyse de Terre de la parcelle du Lycée

isae
Institut en Santé Agro-Environnement

GIP LABOCEA
SITE DE COMBOURG - La madeleine - 35270 COMBOURG
Tél: 02.99.73.02.29 - Fax: 02.99.73.32.85
N° Siret 130 002 082 00068 - N° TVA intracommunautaire FR9223500018

Rapport d'analyse de terre

Tiers		Destinataires	
Exploitation	:	*Organisme*	:
Nom	: **INRA SAD Paysage**	*Technicien*	: **INRA SAD Paysage**
Adresse	: Domaine de la Motte - BP 35 327	*Adresse*	: Domaine de la Motte - BP 35
Ville	: 35653 LE RHEU CEDEX	*Ville*	: 327 35653 LE RHEU CEDEX

Prescripteur		
Organisme		
Technicien	:	**INRA SAD Paysage**
Adresse	:	Domaine de la Motte - BP 35 3
Ville	:	35653 LE RHEU CEDEX

Copie à :
LABOCEA - site de Fougères
LABOCEA - Site de Combourg

PARCELLE		
Y/lat	:	*X/Long*
Référence parcelle	:	
Référence échantillon	:	**AD**
N° Laboratoire	:	**160513010807 04**
Edité le	:	**20/06/2016**
Date de réception	:	**13/05/2016**
Date de fin	:	**20/06/2016**

LABOCEA est agréé par le Ministère français de l'agriculture pour
- l'analyse chimique (type 1)
- l'analyse physique (type 2)
- l'analyse des oligo-éléments (type 3)
- l'analyse des éléments traces métalliques (type 4)
- l'analyse des reliquats d'azote (type 5)

LABOCEA est accrédité pour le programme 96, analyses de terre
(Accréditation N° 1-6103 et 1-6105, Liste des sites et portée disponible sur www.cofrac.fr)

cofrac ESSAIS

La portée d'accréditation ne couvre pas les commentaires et le plan de fumure.
L'accréditation du COFRAC atteste de la compétence des laboratoires pour les seuls essais couverts par l'accréditation, identifiés par le symbole.

La reproduction de ce rapport d'essai n'est autorisée que sous sa forme intégrale. Le rapport concerne l'échantillon soumis à l'analyse et le cas échéant le prélèvement lorsqu'il est effectué par le GIP LABOCEA.

Page1/4

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Référence échantillon : **AD**

1 - GRANULOMETRIE

Dosages	*Résultats (en %)*
Limons fins	24.6
Limons grossiers	42.6
Argile	15.3
Sables fins	10.9
Sables grossiers	6.7
Terre fine	100.0

Texture :

Limon

Indice de battance :

2.6

2 - COMPLEXE ARGILO - HUMIQUE

Dosages	*Symbole*	*Unité*	*Résultat*	*Faible | Normal | Elevé*	Souhaitable
pH eau	**pH**		6.1		6.5
Humidité		%	1.1		
Capacité d'échange cationique Metson	**Cec**	meq/100g	6.5		10.0
Matières organiques (carbone*1.72)	**M.O.**	%	2.0		2.5

3 - ELEMENTS ECHANGEABLES

Dosages	*Symbole*	*Unité*	*Résultat*	*Faible | Normal | Elevé*	Souhaitable
Calcium échangeable	**CaO**	mg/kg	1207		1365
Magnésium échangeable	**MgO**	mg/kg	126		98
Potassium échangeable	**K2O**	mg/kg	103		140
Phosphore assimilable Olsen	**P2O5**	mg/kg	84		50

4 - TABLEAU DES % DE CATIONS DANS LA CEC

	Autres (H+,Al3+...)	Calcium échangeable	Magnésium échangeable	Potassium échangeable
Résultat en meq/100g	**1.4**	**4.31**	**0.6**	**0.2**
Résultats en % de la CEC	**21.4**	**66.3**	**9.2**	**3.1**
Répartition idéale en % :	**12-14**	**75**	**6-7**	**4-5**

Votre taux de saturation
79.4

- Page2/4 -

Référence échantillon : **AD**

5 -ELEMENT TRACES ENVIRONNEMENT

Dosage	*Symbole*	*Unité*	*Résultat*	Seuil AM 01/98

COMMENTAIRES

La biodisponibilité des oligo-éléments est influencée par le pHeau, la teneur en matières organiques et la texture du sol. Veillez au bon équilibre de ces éléments.

BATTANCE: Sol très battant de structure très fragile nécessitant des précautions dans le travail du sol. Faire des labours juste avant le semis. Ne pas trop émietter la terre et éviter de laisser le sol nu trop longtemps. Veiller à l'état calcique et humique.

MATIERE ORGANIQUE: Stock en M.O. faible; augmenter les restitutions organiques (fumier, pailles, résidus de récoltes) et introduire dans la rotation culturale des prairies de longue durée (3-4 ans).

CEC: faible.

CATIONS

CALCIUM: état calcique satisfaisant; Cependant le pH reste faible; réaliser un chaulage d'entretien à raison de 1000 unités de CaO/ha tous les 3 ans.

MAGNESIUM: sol riche en magnésium, des économies sont possibles sur toutes les cultures.

POTASSIUM: Faute de renseignement sur la prochaine culture, nous ne pouvons pas interpréter la fumure potassique

PHOSPHORE: Faute de renseignement sur la prochaine culture, nous ne pouvons pas interpréter la fumure phosphatée

PLAN DE FUMURE

Années Cultures et rendements espérés	NON RENSEIGNE				NON RENSEIGNE				NON RENSEIGNE			
Fumure	P2O5	K2O	CaO	MgO	P2O5	K2O	CaO	MgO	P2O5	K2O	CaO	MgO
Besoins de la culture	0	0	300	20	0	0	300	20	0	0	300	20
+ Fumure de redressement												
- Utilisation des réserves du sol												
- Apport Fumure organique (fumier, lisier...)	0	0			0				0			
Total en unités / ha	0	0	300	20	0	0	300	20	0	0	300	20

N.B. : La fumure peut être répartie en tenant compte des exigences des cultures. L'interprétation repose sur les principes du COMIFER (Comité Français de la Fertilisation raisonnée) et sur les seuils fournis par les Chambres d'Agriculture Bretonnes.

(ec) = en cours d'analyse
N/A ou N.M. = non analysé
ø = paramètre accrédité

Validé le : 20/06/2016
Jocelyne AUBRY
Chef de service

Les résultats sont exprimés sur la terre fine séchée à l'air.

- Page3/4 -

L'Institut en Santé Agro-Environnement (LABOCEA), site de Combourg est membre du Groupe d'Etudes Méthodologiques pour l'analyse des sols (G.E.M.A S.)

LABOCEA participe chaque mois aux circuits analytiques organisés par le B.I.P.E.A (Bureau Interprofessionnel d'Etudes Analytiques).

Déterminations	Méthodes	Références	Type d'agrément concerné
Préparation	Séchage à l'air libre - tamisage à 2mm	NF ISO 11-464	1
Humidité résiduelle	Méthode gravimétrique	NF ISO 11465	1
Calcaire total	Méthode volumétrique	NF ISO 10693	1
Calcaire actif	Titrimétrie	NF X 31-106	1
pH eau et KCl	pH - métrie	NF ISO 10390	1
Conductivité	Conductimétrie	ISO 11265	1
Phosphore assimilable	Dyer ou	NF X 31-160	1
	Joret-Hébert ou	NF X 31-161	1
	Olsen	NF ISO 11263	1
Cations éch.(Ca, K, Mg)	Extraction Acétate ammonium Spectrométrie ICP/AES	NF X 31-108	1
Carbone organique	Oxydation sulfo-chromique si pH eau > 7,1	NF ISO 14235	1
Carbone organique	Dosage par combustion sèche si pH eau ≤7,1	NF ISO 10694	1
Azote total	Kjeldahl modifiée	NF ISO 11261	1
Azote total	Détermination par combustion sèche	NF ISO 13878	1
Capacité d'échange Metson	Spectrocolorimétrie par flux continu	NF X 31-130	1
Analyse physique	Méthode à la pipette	NF X 31-107	2
Bore	Eau bouillante - Spectrocolorimétrie	NF X 31-122	3
Cu, Zn, Mn, Fe échangeables	Extraction EDTA - Spectrométrie	NF X 31-120	3
Cu, Zn, Fe, Mn Totaux	Mise en solution eau régale - Spectrométrie ICP/AES	NF ISO 11885	4
Hg Total	Mise en solution eau régale - Spectrométrie ICP/MS	Méthode interne	4
Cr, Cd, Pb, Al, As, Ba, Co, Cu, Mo, Ni, Sb, Se totaux	Mise en solution eau régale - Spectrométrie ICP/AES	NF ISO 11885	4

NOTRE CONSEIL

Votre analyse est valable 3 ans

Rapport-Gratuit.com

Annexe 4 : Analyse de terre de la parcelle des Petits Chapelais

isae
Institut en Santé Agro-Environnement

GIP LABOCEA
SITE DE COMBOURG - La madeleine - 35270 COMBOURG
Tél: 02.99.73.02.29 - Fax: 02.99.73.32.85
N° Siret 130 002 082 00068 - N° TVA intracommunautaire FR9223500018

Rapport d'analyse de terre

Tiers		
Exploitation	:	
Nom	:	**INRA SAD Paysage**
Adresse	:	Domaine de la Motte - BP 35 327
Ville	:	35653 LE RHEU CEDEX

Prescripteur		
Organisme		
Technicien	:	**INRA SAD Paysage**
Adresse	:	Domaine de la Motte - BP 35 3
Ville	:	35653 LE RHEU CEDEX

Destinataires		
Organisme	:	
Technicien	:	**INRA SAD Paysage**
Adresse	:	Domaine de la Motte - BP 35 327
Ville	:	35653 LE RHEU CEDEX

Copie à :
LABOCEA - site de Fougères
LABOCEA - Site de Combourg

PARCELLE		
Y/lat	:	*X/Long*
Référence parcelle	:	
Référence échantillon	:	**GS**
N° Laboratoire	:	**160513010807 03**
Edité le	:	**20/06/2016**
Date de réception	:	**13/05/2016**
Date de fin	:	**20/06/2016**

LABOCEA est aeréé par le Ministère français de l'agriculture pour
- l'analyse chimique (type 1)
- l'analyse physique (type 2)
- l'analyse des oligo-éléments (type 3)
- l'analyse des éléments traces métalliques (type 4)
- l'analyse des reliquats d'azote (type 5)

LABOCEA est accrédité pour le programme 96, analyses de terre
(Accréditation N° 1-6103 et 1-6105, Liste des sites et portée disponible sur www.cofrac.fr)

cofrac ESSAIS

La portée d'accréditation ne couvre pas les commentaires et le plan de fumure.
L'accréditation du COFRAC atteste de la compétence des laboratoires pour les seuls essais couverts par l'accréditation, identifiés par le symbole

La reproduction du rapport d'essai n'est autorisée que sous sa forme intégrale. Le rapport concerne l'échantillon soumis à l'analyse et le cas échéant le prélèvement lorsqu'il est effectué par le GIP LABOCEA.

- Page1/4

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MEMOIRES

Référence échantillon : **GS**

1 - GRANULOMETRIE

Dosages	*Résultats (en %)*
Limons fins	18.0
Limons grossiers	43.3
Argile	12.8
Sables fins	16.4
Sables grossiers	9.5
Terre fine	99.1

Texture :
Limoneux

Indice de battance :
1.8

2 - COMPLEXE ARGILO - HUMIQUE

Dosages	*Symbole*	*Unité*	*Résultat*	*Faible | Normal | Elevé*	Souhaitable
pH eau	**pH**		7.2		6.5
Humidité		%	1.2		
Capacité d'échange cationique Metson	**Cec**	meq/100g	8.2		10.0
Matières organiques (carbone*1.72)	**M.O.**	%	3.1		2.5

3 - ELEMENTS ECHANGEABLES

Dosages	*Symbole*	*Unité*	*Résultat*	*Faible | Normal | Elevé*	Souhaitable
Calcium échangeable	**CaO**	mg/kg	2431		1722
Magnésium échangeable	**MgO**	mg/kg	190		123
Potassium échangeable	**K2O**	mg/kg	427		140
Phosphore assimilable Olsen	**P2O5**	mg/kg	129		50

4 - TABLEAU DES % DE CATIONS DANS LA CEC

	Autres (H+,Al3+...)	Calcium échangeable	Magnésium échangeable	Potassium échangeable
Résultat en meq/100g	**< 0.1**	**8.68**	**1**	**0.9**
Résultats en % de la CEC	**< 0.1**	**> 100**	**12.2**	**11**
Répartition idéale en % :	**12-14**	**75**	**6-7**	**4-5**

Votre taux de saturation
> 100

- Page2/4 -

Référence échantillon : **GS**

5 -ELEMENT TRACES ENVIRONNEMENT

Dosage	*Symbole*	*Unité*	*Résultat*	Seuil AM 01/98

COMMENTAIRES

La biodisponibilité des oligo-éléments est influencée par le pHeau, la teneur en matières organiques et la texture du sol. Veillez au bon équilibre de ces éléments.
BATTANCE: Sol battant de structure fragile nécessitant des précautions dans le travail du sol. Faire des labours juste avant le semis. Ne pas trop émietter la terre et éviter de laisser le sol nu trop longtemps. Veiller à l'état calcique et humique.
MATIERE ORGANIQUE: Stock en M.O. correct.
CEC: moyenne.

CATIONS
CALCIUM: état calcique très satisfaisant
MAGNESIUM: sol riche en magnésium, des économies sont possibles sur toutes les cultures.
POTASSIUM: Faute de renseignement sur la prochaine culture, nous ne pouvons pas interpréter la fumure potassique
PHOSPHORE: Faute de renseignement sur la prochaine culture, nous ne pouvons pas interpréter la fumure phosphatée

PLAN DE FUMURE

Années *Cultures et rendements espérés*	NON RENSEIGNE				NON RENSEIGNE				NON RENSEIGNE			
Fumure	P2O5	K2O	CaO	MgO	P2O5	K2O	CaO	MgO	P2O5	K2O	CaO	MgO
Besoins de la culture	0	0	0	20	0	0	0	20	0	0	0	20
+ Fumure de redressement *- Utilisation des réserves du sol* *- Apport Fumure organique (fumier, lisier...)*	0	0			0				0			
Total en unités / ha	0	0		20	0	0		20	0	0		20

N.B. : La fumure peut être répartie en tenant compte des exigences des cultures. L'interprétation repose sur les principes du COMIFER (Comité Français de la Fertilisation raisonnée) et sur les seuils fournis par les Chambres d'Agriculture Bretonnes.

(ec) = en cours d'analyse
N/A ou N.M. = non analysé
ø = paramètre accrédité

Validé le : 20/06/2016
Jocelyne AUBRY
Chef de service

Les résultats sont exprimés sur la terre fine séchée à l'air.

- Page3/4 -

L'Institut en Santé Agro-Environnement (LABOCEA), site de Combourg est membre du Groupe d'Etudes Méthodologiques pour l'analyse des sols (G.E.M.A S.)

LABOCEA participe chaque mois aux circuits analytiques organisés par le B.I.P.E.A (Bureau Interprofessionnel d'Etudes Analytiques).

Déterminations	Méthodes	Références	Type d'agrément concerné
Préparation	Séchage à l'air libre - tamisage à 2mm	NF ISO 11-464	1
Humidité résiduelle	Méthode gravimétrique	NF ISO 11465	1
Calcaire total	Méthode volumétrique	NF ISO 10693	1
Calcaire actif	Titrimétrie	NF X 31-106	1
pH eau et KCl	pH - métrie	NF ISO 10390	1
Conductivité	Conductimétrie	ISO 11265	1
Phosphore assimilable	Dyer ou	NF X 31-160	1
	Joret-Hébert ou	NF X 31-161	1
	Olsen	NF ISO 11263	1
Cations éch.(Ca, K, Mg)	Extraction Acétate ammonium Spectrométrie ICP/AES	NF X 31-108	1
Carbone organique	Oxydation sulfo-chromique si pH eau > 7,1	NF ISO 14235	1
Carbone organique	Dosage par combustion sèche si pH eau ≤7,1	NF ISO 10694	1
Azote total	Kjeldahl modifiée	NF ISO 11261	1
Azote total	Détermination par combustion sèche	NF ISO 13878	1
Capacité d'échange Metson	Spectrocolorimétrie par flux continu	NF X 31-130	1
Analyse physique	Méthode à la pipette	NF X 31-107	2
Bore	Eau bouillante - Spectrocolorimétrie	NF X 31-122	3
Cu, Zn, Mn, Fe échangeables	Extraction EDTA - Spectrométrie	NF X 31-120	3
Cu, Zn, Fe, Mn Totaux	Mise en solution eau régale - Spectrométrie ICP/AES	NF ISO 11885	4
Hg Total	Mise en solution eau régale - Spectrométrie ICP/MS	Méthode interne	4
Cr, Cd, Pb, Al, As, Ba, Co, Cu, Mo, Ni, Sb, Se totaux	Mise en solution eau régale - Spectrométrie ICP/AES	NF ISO 11885	4

NOTRE CONSEIL

Votre analyse est valable 3 ans

Annexe 5 : Evaluation par Arvalis des blés modernes utilisés

Les Fiches ARVALIS
Variétés - Produits - Accidents
Blé tendre

Dernières nouveautés !
Découvrez les fiches accidents du maïs

Editée le : 19/05/2015

ARVALIS Institut du végétal

CHEVALIER

Blé tendre d'hiver

Identité

Représentant : Sem Partners — Année d'inscription : 2006 (Autriche)

Lignée — non barbu

Caractéristiques physiologiques

Rythme de développement
Alternativité : (2) (hiver)
Précocité montaison : 2 (assez tardif)
Précocité épiaison : 5.5 (1/2 tardif)

Résistance
Tolérance au froid : -
Verse : 7.5 (assez résistant)

Hauteur de paille : 4 (courte à assez courte)
PMG : 4 (petit)

Résistance aux bioagresseurs

Maladies
Dernière année d'étude : 2006
Tolérance globale Nord Loire : 8 (assez tolérante)
Sud Loire : -
Piétin Verse : (2) (sensible)
Oïdium : 8 (résistant)
Rouille jaune : (9) (résistant)
Septoriose tritici : 6 (peu sensible)
Helminthosporiose : (6) (peu sensible)
Rouille brune : 5 (assez sensible)
Mycotoxines (DON) : 6 (assez résistant)

Virus
Mosaïques : S (sensible)

Insectes
Cécidomyies oranges : -

Adventices
Tolérance au chlortoluron : T (Tolérant)

Valeur technologique

Classe qualité technologique : BPS

Teneur en protéines : 4 (moyenne à assez faible)
Poids spécifique : 7 (Elevé)
Germination sur pied : -

Meunerie
Indice de Zélény : 30-45
Dureté du grain : hard
W à 11% de protéines : 220-255
P/L à 11% de protéines : 0.70-1.60

Alimentation avicole
Viscosité potentielle éthanolique : -

Rendement par rapport à d'autres variétés

Rendements inscription

Vous n'avez sélectionné aucun département.

Rendements post-inscription

Vous n'avez choisi aucune variété témoin à comparer.

Source des données : GEVES et ARVALIS - Institut du végétal

Rapport-Gratuit.com

PIRENEO

Blé tendre d'hiver

Identité

Représentant : Lemaire Deffontaines	Année d'inscription : 2004 (Autriche)
Lignée	barbu

Caractéristiques physiologiques

Rythme de développement
Alternativité : -
Précocité montaison : -
Précocité épiaison : 5.5 (1/2 tardif)

Résistance
Tolérance au froid : -
Verse : (7) (assez résistant)

Hauteur de paille : 6 (moyenne à haute)
PMG : (6) (assez gros)

Résistance aux bioagresseurs

Maladies
Dernière année d'étude : 2004
Tolérance globale Nord Loire : -
Sud Loire : -
Piétin Verse : -
Oïdium : -
Rouille jaune : 3 (sensible)
Septoriose tritici : -
Helminthosporiose : -
Rouille brune : (8) (résistant)
Fusariose des épis : -

Virus
Mosaïques : S (sensible)

Insectes
Cécidomyies oranges : -

Adventices
Tolérance au chlortoluron : -

Valeur technologique

Classe qualité technologique : BAF
Teneur en protéines : 7 (assez élevée)
Poids spécifique : 8 (Très élevé)
Germination sur pied : -

Meunerie
Indice de Zélény : -
Dureté du grain : -
W à 14% de protéines : -
P/L à 14% de protéines : -

Alimentation avicole
Viscosité potentielle éthanolique : -

Rendement par rapport à d'autres variétés

Rendements inscription

Vous n'avez sélectionné aucun département.

Rendements post-inscription

Vous n'avez choisi aucune variété témoin à comparer.

Source des données : GEVES et ARVALIS - Institut du végétal

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DES MÉMOIRES

RENAN

Blé tendre d'hiver

Identité

Représentant : Agri Obtentions	Année d'inscription : 1990 (France)
Lignée	barbu

Caractéristiques physiologiques

Rythme de développement
Alternativité : 1 (très hiver)
Précocité montaison : 1 (tardif)
Précocité épiaison : 6 (1/2 tardif à 1/2 préc.)

Résistance
Tolérance au froid : 9 (résistant)
Verse : 7 (assez résistant)

Hauteur de paille : 4 (courte à assez courte)
PMG : 6 (assez gros)

Résistance aux bioagresseurs

Maladies

Dernière année d'étude : 1990
Tolérance globale Nord Loire : (9) (tolérante)
Sud Loire : -

Piétin Verse : 5 (peu sensible)
Oïdium : 6 (peu sensible)
Rouille jaune : 7 (assez résistant)
Septoriose tritici : -
Helminthosporiose : -
Rouille brune : 8 (résistant)
Mycotoxines (DON) : 6 (assez résistant)

Virus
Mosaïques : S (sensible)

Insectes
Cécidomyies oranges : R (Résistant)

Adventices
Tolérance au chlortoluron : T (Tolérant)

Valeur technologique

Classe qualité technologique : B1

Teneur en protéines : -
Poids spécifique : 7 (Elevé)
Germination sur pied : 6 (peu sensible)

Meunerie
Indice de Zélény : 45-55
Dureté du grain : médium - hard
W à 11% de protéines : 210-230
P/L à 11% de protéines : 1.60-1.80

Alimentation avicole
Viscosité potentielle éthanolique : -

Rendement par rapport à d'autres variétés

Rendements inscription

Vous n'avez sélectionné aucun département.

Rendements post-inscription

Vous n'avez choisi aucune variété témoin à comparer.

Source des données : GEVES et ARVALIS - Institut du végétal

Annexe 6 : Caractéristiques des blés populations utilisés (source : des blés bios… diversité !)

	Avantage	Inconvénient	Origine géographique
Bladette de Provence	Couvrant au printemps, rendement correct, riche en protéines	Sensible à la rouille et à la verse, aucune force boulangère	Provence
Redon Roux Pâle	Peu sensible à la verse	Faible rendement	Pays de Redon (35)
St Priest et le Vernois Rouge	Très peu sensible aux maladies du feuillage et à la verse, bon en boulange	Peu couvrant au printemps	Allier (03)

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Annexe 7 : Fiche d'évaluation remplie au cours des observations

Lieu de prélèvement | Variété : | Asso, mélange, pur | Date d'observation | Répétition

Observations	Colonisation	Hyphes	Vésicules	Arbuscules
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				

Observations	Colonisation	Hyphes	Vésicules	Arbuscules
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				

ENGAGEMENT DE NON PLAGIAT

Je, soussigné(e) .....
déclare être pleinement conscient(e) que le plagiat de documents ou d'une partie d'un document publiée sur toutes formes de support, y compris l'internet, constitue une violation des droits d'auteur ainsi qu'une fraude caractérisée.
En conséquence, je m'engage à citer toutes les sources que j'ai utilisées pour écrire ce rapport ou mémoire.

signé par l'étudiant(e) le 05 / 08 / 2016

Rapport-Gratuit.com

RÉSUMÉ

Cette étude, réalisée au sein de l'équipe Biodiversité Cultivée et Recherche Participative de l'INRA du Rheu porte sur l'impact des diversités intravariétale, inter-variétale et inter-spécifique d'une parcelle de blé sur la mycorhization des céréales.

La mycorhize est une association à bénéfices mutuels de champignons du sol avec les racines des plantes. Elle permet d'augmenter la surface d'absorption racinaire, de protéger les plantes, et de les adapter à des conditions difficiles.

Inscrite dans le projet SAFARI, cette étude n'a pu révéler d'impact direct de ces niveaux de diversité sur la mycorhization. L'absence totale de diversité des cultures pures d'une variété moderne semble cependant nuire à l'activité symbiotique mycorhizienne du blé. La capacité des variétés populations à mycorhizer est significativement supérieure à celle des variétés modernes.

mots-clés : Mycorhizes, blé tendre, variété population, variété moderne, agriculture biologique, zéro intrant, agroécologie, symbiose, sol, plante, production végétale, céréale.